

ENJEUX ET MODALITÉS DE RESTAURATION ÉCOLOGIQUE SUR DES SITES INDUSTRIELS À
FORTS IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX : LE CAS DES INSTALLATIONS DE STOCKAGE DE
DÉCHETS EN FRANCE

Par
Kévin Marie-Louise-Henriette

Essai présenté au Centre universitaire de formation
en environnement et développement durable de
L'UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Sous la direction de Monsieur Stéphane Tanguay

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT
Cheminement de type cours en gestion de l'environnement et
de la biodiversité intégrée à la gestion des territoires,
double diplôme avec l'Université Montpellier 2 (France)

Juin 2015

SOMMAIRE

Mots clés : préservation de la biodiversité, génie écologique, restauration écologique, impacts environnementaux, site industriel, installation de stockage de déchets

L'objectif général de cet essai est d'analyser les possibilités de restauration écologique (processus visant à assister le rétablissement d'un écosystème dégradé) au sein d'installations françaises de stockage de déchets, pendant ou après leur phase d'exploitation. Dans cette optique, une méthodologie déclinée en dix étapes et modulable en fonction des types de projets est proposée. Plusieurs exemples de démarches de restauration écologique entreprises sur des exploitations industrielles sont ensuite présentés, de même que l'analyse de leurs limites et de leurs possibilités de transposition au sein d'installations de stockage de déchets.

L'analyse proposée par le présent essai souligne que, si certains projets de restauration de grande envergure commencent à voir le jour au sein de sites industriels relevant d'autres domaines d'activité (barrages hydrauliques, exploitations agricoles, etc.), le sujet semble encore balbutiant auprès de l'activité de stockage de déchets. Parmi les recommandations, il serait donc nécessaire d'acquérir davantage de connaissances sur le sujet, puis de communiquer efficacement, notamment en proposant l'intégration de telles mesures dès la conception des installations de stockage de déchets. Certains exploitants semblent effectivement très motivés en matière de biodiversité et manquent tout simplement d'information et d'accompagnement pour pouvoir appliquer ce type de mesures sur leur site.

La restauration écologique au sein d'installations de stockage de déchets pendant et après la période d'exploitation semble envisageable, bien qu'encore compliquée. Les exploitants ont besoin de se baser sur des méthodes fiables, efficaces et peu onéreuses, ce qui n'est parfois pas le cas de cette science encore trop jeune. Les contraintes techniques relatives à l'exploitation d'un site sont omniprésentes et limitent les marges de manœuvre en matière de restauration et de gestion écologiques. Il demeure impossible d'envisager d'importants travaux (reconstitution de milieux boisés, création de zones humides, mares ou cours d'eau, etc.) sur d'anciennes zones d'exploitation par risque d'endommager les membranes de protection et donc d'engendrer une pollution significative du milieu naturel. La restauration de formations végétales rases (steppes, garrigues, landes, etc.) avec introduction d'un système de pastoralisme peut, néanmoins, être envisageable et pertinente à entreprendre au sein d'installations de stockage de déchets dont la situation régionale le permet.

REMERCIEMENTS

Je tiens en premier lieu à remercier mon directeur d'essai, monsieur Stéphane Tanguay, sans qui cet ouvrage n'aurait pas vu le jour. Malgré un emploi du temps surchargé, il a toujours su prendre le temps de répondre à mes requêtes avec une patience, une gentillesse et une bonne humeur exceptionnelles. Ses conseils et ses commentaires ont toujours été des plus constructifs et m'ont, sans aucun doute, permis d'améliorer continuellement la qualité de cet essai.

Je tiens également à remercier Blanche Gomez, pour m'avoir accompagné durant toute la durée de rédaction et m'avoir continuellement proposé son aide. Elle a su me renseigner sur de nombreux aspects de la restauration écologique, mais également sur les modalités de gestion de la biodiversité au sein d'ISD. Un grand merci également pour sa disponibilité et sa gentillesse à toute épreuve.

Je remercie aussi Philippe Gourdain et Olivier Delzons pour le soutien et les précieux conseils qu'ils ont pu me prodiguer, ainsi que pour l'attention qu'ils ont toujours su accorder à mon égard. Merci également pour avoir participé activement à la relecture et m'avoir apporté un regard d'experts sur le sujet. Un merci tout particulier à Olivier ainsi qu'à Chloé Thierry, qui m'ont également accompagné lors de mes premières enquêtes de terrain et qui m'ont énormément appris.

Finalement, je tiens à remercier mes amis et ma famille pour leur soutien et leurs encouragements continuels, et en particulier ma sœur Lucie, même si je n'ai toujours pas réussi à la convaincre de faire le tri sélectif. Elle m'a, en effet, hébergé pendant la rédaction de mon essai et a dû supporter mon véritable manque de sociabilité durant ces longs mois. Je remercie également Nelly Felter qui n'a jamais cessé de croire en la qualité de mon travail et m'a permis d'aller jusqu'au bout de cette aventure.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1 MISE EN CONTEXTE	4
1.1 La production et le traitement des déchets en Europe.....	4
1.2 Les chiffres nationaux.....	5
1.3 Les installations de stockage de déchets en France	7
1.4 Les différentes installations de stockage de déchets	11
1.4.1 Les installations de stockage de déchets non dangereux	11
1.4.2 Les installations de stockage de déchets inertes.....	13
1.4.3 Les installations de stockage de déchets dangereux	13
1.5 Le génie écologique	13
1.5.1 Généralités écologiques.....	14
1.5.2 Du génie écologique à la restauration écologique	15
1.5.3 Les domaines voisins de la restauration écologique	15
2 CONTEXTE LÉGISLATIF ET RÉGLEMENTAIRE.....	18
2.1 La législation et la réglementation applicables aux ISD.....	18
2.1.1 Le cas des ISDD	18
2.1.2 Le cas des ISDND.....	20
2.1.3 Le cas des ISDI	21
2.2 L'inscription au régime français d'Installation Classée pour la Protection de l'Environnement	21
2.2.1 Le régime de classement ICPE.....	22
2.2.2 Les cas particuliers.....	23

2.3 Les obligations légales et réglementaires des ISD liées à la biodiversité.....	23
2.3.1 Les études avant autorisation	24
2.3.3 Les études après autorisation	26
3 LES ENJEUX DE PRÉSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ AU SEIN D'ISD	28
3.1 Impacts négatifs des ISD sur la biodiversité	28
3.1.1 Impacts sur la qualité de l'air.....	28
3.1.2 Impacts sur la qualité des sols	29
3.1.3 Impacts sur la qualité de l'eau.....	29
3.1.4 Impacts sur la végétation	30
3.1.5 Impacts sur la faune	30
3.1.6 Impacts sur la biodiversité à une échelle plus large	31
3.2 Un vecteur de communication efficace : le concept de « biens et services écosystémiques »	31
3.3 Valorisation et enjeux de préservation de la biodiversité au sein d'une ISD.....	33
3.3.1 La biodiversité, capital naturel de l'entreprise	33
3.3.2 Identification des risques et enjeux liés à l'érosion de la biodiversité : le cas des ISD	34
3.3.3 Mise en évidence de la valeur ajoutée de la biodiversité pour les ISD.....	35
4 MODALITÉS ET LIMITES DE LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE.....	37
4.1 Généralités	37
4.2 Étape 1 : Identification des modalités et des besoins du projet	41
4.2.1 Détermination de l'emplacement et de la propriété du site à restaurer	41
4.2.2 Identification des bénéfices en restauration écologique	41
4.3 Étape 2 : Caractérisation écologique du site.....	42

4.3.1 Importance et modalités de la caractérisation écologique	42
4.3.2 Exemple d'une méthode de caractérisation de la biodiversité : l'indicateur de qualité écologique du Muséum national d'Histoire naturelle	44
4.4 Étape 3 : Détermination des buts et objectifs de la restauration	46
4.4.1 Élaboration des buts de la démarche de restauration	47
4.4.2 Élaboration des objectifs de restauration	48
4.5 Étape 4 : Identification des composantes à atténuer, réparer et restaurer	50
4.6 Étape 5 : Réflexion sur l'intégration de la restauration dans le contexte écologique environnement	50
4.7 Étape 6 : Identification des modalités techniques d'avant-projet	51
4.7.1 Détermination des ressources nécessaires à la réalisation du projet.....	52
4.7.2 Détermination des conditions d'ordre réglementaire	52
4.7.3 Détermination de la durée du projet.....	53
4.8 Étape 7 : Identification des modalités organisationnelles en lancement de projet	53
4.8.1 Recrutement de la main d'œuvre et préparation du budget	53
4.8.2 Choix et description de l'écosystème de référence.....	54
4.8.3 Collaboration avec le public afin de faire connaître le projet	56
4.8.4 Construction des infrastructures nécessaires à la réalisation du projet.....	56
4.9 Étape 8 : Planification des travaux de restauration	56
4.10 Étape 9 : Réalisation des travaux de restauration	57
4.11 Étape 10 : Évaluation, suivi et communication autour du projet	58
4.11.1 Détermination des standards de performance et des outils d'évaluation de la démarche	58
4.11.2 Validation de l'efficacité du projet de restauration	60

4.11.3 Communication autour du projet	61
4.12 Mise en évidence des limites de la restauration écologique	61
4.12.1 La restauration écologique : une science encore immature	61
4.12.2 De nombreuses questions toujours en suspens	62
5 LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE DES SITES PERTURBÉS	66
5.1 Plaine de Cossure : l'un des premiers projets français de restauration écologique à grande échelle	66
5.1.1 Contexte de la démarche	66
5.1.2 Détails de la démarche.....	67
5.1.3 Retour d'expérience	68
5.1.4 Réflexion sur la pertinence du système de « réserve d'actifs naturels »	71
5.2 Barrage de Kembs : le projet de restauration colossal piloté par l'entreprise Électricité de France.....	72
5.2.1 Contexte de la démarche	73
5.2.2 Détails de la démarche.....	73
5.2.3 Résultats de la démarche.....	75
5.3 État actuel de la restauration écologique sur des ISD	77
6 RECOMMANDATIONS	81
6.1 Possibilités de transposition des méthodes de restauration efficaces aux ISD	81
6.2 Discussion et perspectives d'évolution	84
6.2.1 Renforcer les connaissances dans le domaine	85
6.2.2 Communiquer, sensibiliser et former les parties prenantes à la restauration écologique et à la préservation de la biodiversité	85

6.2.3 Intégrer la possibilité d'une démarche de restauration écologique dès la conception d'une ISD	86
6.2.4 L'éventualité d'une certification ou d'une déduction fiscale	87
CONCLUSION	89
RÉFÉRENCES	91
BIBLIOGRAPHIE	97
ANNEXE 1 - LISTE DES PROPRIÉTÉS DES DÉCHETS CLASSÉS COMME DANGEREUX AU REGARD DE L'ARTICLE R541-8 DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT	99
ANNEXE 2 - PRÉSENTATION DU PROJET DE RESTAURATION DE L'ÎLE DE KEMBS	101

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1.1	Traitement des déchets dans l'Union européenne en 2012, en pourcentage	5
Figure 1.2	Évolution de la production de déchets en France de 2004 à 2010	6
Figure 1.3	Traitement des déchets en France entre 2008 et 2012	6
Figure 1.4	Exemple de coupe schématique du casier d'exploitation d'une ISD	8
Figure 1.5	Coupe schématique des structures de fond et de couverture d'un casier de stockage de déchets	10
Figure 1.6	Nombre d'installations de stockage de déchets non dangereux en France, en 2010	12
Figure 2.1	Exemple d'agencement d'une structure réceptrice de déchets dangereux	19
Figure 2.2	Coupe schématique de la couverture finale du massif de déchets d'une ISDD	20
Figure 2.3	Synthèse des études susceptibles d'être entreprises dans le cadre d'un projet de création d'ISD	24
Figure 3.1	Liens entre la biodiversité, la production de BSE et les bénéfices retirés par l'Homme	32
Figure 3.2	Classification fonctionnelle des services écologiques	32
Figure 3.3	Ensemble des capitaux permettant la création de richesses au sein d'une entreprise	33
Figure 4.1	Modèle conceptuel de la dégradation et de la restauration d'un écosystème	38
Figure 4.2	Trame proposée pour la réalisation d'une démarche de restauration écologique	40
Figure 4.3	Exemple de campagnes réalisées par le MNHN afin de déterminer l'IQE d'un site industriel	45
Figure 4.4	Présentation des objectifs « SMART »	49
Figure 5.1	Dispositif expérimental des essais de restauration écologique	68
Figure 5.2	Résultats de la richesse spécifique obtenue en fonction des techniques utilisées	69

Figure 5.3	Abondances moyennes des espèces rencontrées au sein d'une communauté de référence, <i>versus</i> celles d'une communauté obtenue par transfert de foin.....	70
Figure 5.4	Vue en plan du projet de restauration du site de Kembs.....	74
Figure 5.5	Photographie aérienne présentant l'état actuel des travaux de restauration du site de Kembs	75
Tableau 1.1	Production de déchets dans l'Union européenne en 2010, en million de tonnes.....	4
Tableau 2.1	Concentrations limites (en polluants) des déchets admis dans des ISDD	18
Tableau 4.1	Les cinq contextes dans lesquels une démarche de restauration écologique peut s'inscrire	46
Tableau 4.2	Les différents type de référence	55
Tableau 4.3	Stratégies possibles pour assurer l'évaluation d'un projet de restauration écologique.....	59
Tableau 4.4	Attributs attestant de la bonne restauration d'un écosystème	60
Tableau 5.1	Bilan des cinq premières transactions de la CDC Biodiversité sur le site de Cossure.....	72
Tableau 5.2	Longueurs des milieux de restauration projetés	76
Tableau 5.3	Superficies des milieux de restauration projetés	76
Tableau 6.1	Comparaison globales de plusieurs méthodes de restauration écologique	84

LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
BSE	Biens et services écosystémiques
CDC	Caisse des dépôts et consignation
CEEP	Conservatoire d'études des écosystèmes de Provence
CODERST	Conseil de l'Environnement et des Risques Sanitaires et Technologiques
CNPN	Conseil National de Protection de la Nature
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
DRIEE	Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie
EDF	Électricité de France
EMAS	<i>Eco Management and Audit Scheme</i>
ERC	Éviter, réduire, compenser
GCA	Grand Canal d'Alsace
GES	Gaz à effet de serre
GPS	<i>Global Positionning System</i>
ICPE	Installation classée pour la protection de l'environnement
IIC	Inspection des Installations Classées
IMEP	Institut méditerranéen d'écologie et de paléoécologie
IRD	Institut de recherche pour le développement
IQE	Indicateur de Qualité Écologique
ISD	Installation de stockage de déchets
ISDD	Installation de stockage de déchets dangereux
ISDI	Installation de stockage de déchets inertes
ISDND	Installation de stockage de déchets non dangereux
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MEA	<i>Millenium Ecosystem Assessment</i>
MEDEF	Mouvement des entreprises de France
MEDDE	Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie
MNHN	Muséum national d'Histoire naturelle
SER	<i>Society for Ecological Restoration</i>
SIG	Système d'information géographique
SPN	Service du patrimoine naturel
TGAP	Taxe sur les activités polluantes
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature
VR	Vieux Rhin
ZNIEFF	Zones Naturelles d'Intérêt Écologique Faunistique et Floristique

LEXIQUE

Abiotique	Ensemble des facteurs physico-chimiques d'un écosystème influençant sur une biocénose donnée. Action du non-vivant sur le vivant (Sciences Eaux & Territoires, 2011).
Actif naturel	Terrain à vocation écologique reconnu par l'État, qu'un maître d'ouvrage peut acheter afin de répondre à ses obligations réglementaires (de compensation écologique) ou à sa volonté de s'investir volontairement dans la préservation de la biodiversité. (Définition de l'auteur).
Anthropique	Ayant une origine influencée ou façonnée par les hommes (Clewell et Aronson, 2010).
Arrêté préfectoral de protection de biotope	Arrêté ayant pour objectif de prévenir la disparition d'espèces protégées. Ne relève pas d'une compétence nationale, mais de celle de chaque préfet, représentant l'État dans les départements. Chaque arrêté vise un biotope précis, dans la mesure où il est nécessaire à l'alimentation, à la reproduction, au repos ou à la survie de la ou des espèces concernées, et peut être de petite superficie ou englober un département entier (Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, 2012a).
Arrêté préfectoral d'autorisation	Arrêté délivré par le préfet, après instruction (enquête publique et enquête administrative), autorisant la mise en activité d'une installation classée relevant du régime de l'autorisation préfectorale (autorisation simple ou avec servitudes d'utilité publique). (Techniques de l'ingénieur, s. d.).
Arrêté préfectoral de dérogation	Arrêtés autorisant certaines personnes ou certaines structures à perturber les espèces protégées et/ou leurs milieux protégés dans certaines conditions. (Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Haute-Normandie, 2015).
Arrêtés types	Prescription standard rédigée par l'État (Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, 2012b).
Banque de graines	Stock de graines viables, de spores ou d'autres propagules de végétaux du sol (Clewell et Aronson, 2010).
Biodiversité	Diversité de la vie à tous les niveaux d'organisations (gène, individu, population, communauté, écosystème) et tous les rangs taxonomiques (Clewell et Aronson, 2010).
Biomimétisme	Imitation de propriétés remarquables du vivant dans les activités humaines (Commissariat général au développement durable, 2012).
Biote	Ensemble des organismes vivants (plantes, micro-organismes, animaux...) que l'on trouve dans un biotope (région ou secteur donné) (Actu Environnement, 2014).
Biotique	Ensemble des interactions du vivant sur le vivant dans un écosystème (ressources alimentaires, relations trophiques de prédation, compétition, etc.) (Sciences Eaux & Territoires, 2011).

Biotope	Milieu de vie où les conditions écologiques sont considérées comme homogènes et bien définies. Le biotope d'un organisme est le milieu caractérisé par des paramètres (température, flore...) bien définis, auquel il est spécialement adapté, c'est donc un milieu où vit une espèce. Chaque biotope est également caractérisé, en principe, par la faune et la flore qui l'habitent, c'est à dire par une biocénose (Sciences Eaux & Territoires, 2011).
Brachypode	Espèce au pédoncule ou au pétiole court. Genre de graminacées dont quelques espèces colonisent les faciès méditerranéens les plus dégradés (Dictionnaire éducation, 2015).
Calcicole	Formation végétale composée essentiellement de plantes herbacées vivaces formant un tapis plus ou moins ouvert sur sol calcaire peu épais, pauvre en éléments minéraux nutritifs, subissant un éclaircissement intense et une période de sécheresse climatique ou édaphique (Sciences Eaux & Territoires, 2011).
Capital naturel	Métaphore économique pour les stocks limités des ressources naturelles physiques et biologiques que l'on trouve sur Terre, d'où proviennent les biens et services écosystémiques (Clewell et Aronson, 2010).
Composition spécifique	Ensemble des espèces se trouvant sur un site (Clewell et Aronson, 2010).
Dénitrification	Deuxième étape de l'élimination biologique de l'azote présent dans l'eau résiduaire, réalisée notamment dans les stations d'épuration. Les nitrites et les nitrates sont oxydés sous forme d'azote atmosphérique non polluant par des bactéries en absence d'oxygène (Actu Environnement, 2014).
Éluât	Résultat de l'élution, de la remise en solution d'un corps adsorbé (<i>Encyclopaedia Universalis</i> , 2015).
Embâcle	Phénomène d'accumulation de matériaux emportés par le courant (végétation, rochers, bois, etc.) dans le lit mineur (Actu Environnement, 2014).
Endémique	Espèce animale ou végétale dont l'aire de répartition est limitée à une région donnée (Sciences Eaux & Territoires, 2011).
Espèce ingénieuse	Espèce qui, par son activité naturelle, change le milieu où elle vit et crée un nouveau milieu qui lui est spécifique (Cabane, 2010).
Espèce « nurse »	Plante, souvent exogène, semée dans un milieu à restaurer afin de créer des conditions favorables à l'implantation des espèces cibles de la restauration. Ces plantes vont ensuite disparaître naturellement du milieu (Sciences Eaux & Territoires, 2011).
Étrépage	Technique de restauration écologique des milieux visant à supprimer la couche organique du sol (sur 10 à 20 centimètres maximum) afin de le rajeunir. Cet appauvrissement favorise alors le développement d'espèces pionnières et d'une biodiversité plus riche (Conseil général du Finistère, 2012).

Eutrophisation	Apport en excès de substances nutritives (nitrates et phosphates) dans un milieu aquatique pouvant entraîner la prolifération des végétaux aquatiques (parfois toxiques) (Actu Environnement, 2014).
Géotextile	Textile artificiel employé comme armature ou comme filtre dans le domaine des travaux publics (Sciences Eaux & Territoires, 2011).
Girobroyage	Broyage et mélange des éléments constitutifs du sol, soit la terre, la matière végétale et la matière minérale (Fondation Rurale Interjurassienne, s. d.).
Fraction soluble	Rapport au poids sec d'un échantillon lixivié du cumul des valeurs obtenues par pesée du résidu sec à 103 °C (<i>Arrêté du 18 décembre 1992 relatif au stockage de certains déchets industriels spéciaux ultimes et stabilisés pour les installations existantes</i>).
Hélophyte	Plante aquatique développant un appareil végétatif (tiges et feuilles) et un appareil reproducteur (fleurs) hors de l'eau, mais dont les racines et les tiges souterraines sont généralement ancrées dans un sol gorgé d'eau (Sciences Eaux & Territoires, 2011).
Hibernaculum	Refuge (en pierre, bois, terre, etc.) servant à l'hibernation d'une ou plusieurs espèces (Définition de l'auteur).
Laridé	Ordre d'oiseaux regroupant les mouettes, les goélands, les sternes, etc. (Définition de l'auteur)
Lichénique	Qui se rapporte aux lichens (Larousse, 2015).
Lixiviat	Fraction liquide, riche en matière organique et en éléments traces, résultant de l'action conjuguée de l'eau de pluie et de la fermentation naturelle au sein d'un massif de déchets (Actu Environnement, 2014).
Mâchefer	Résidus de l'incinération des ordures ménagères laissés en fond de four et constitués, dans leur très grande majorité, des matériaux incombustibles des déchets (verre, métal...) (Actu Environnement, 2014).
Macrophyte	Ensemble des plantes aquatiques macroscopiques, visibles à l'œil nu (Actu Environnement, 2014).
Merlon	Ouvrage de protection, constitué généralement d'un talus de terre, entourant une installation pour la protéger de l'extérieur mais aussi pour l'isoler visuellement et/ou phoniquement (Actu Environnement, 2014).
Méta-communauté	Ensemble de communautés locales, séparées spatialement mais reliées par la dispersion de multiples organismes qui, potentiellement, interagissent entre eux (Lenoir, s. d.).
Méta-population	Groupe de populations d'un même organisme, séparées spatialement et qui interagissent via des échanges génétiques par dispersion (Lenoir, s. d.).

Méthanogénèse	Formation de méthane par l'intermédiaire de microorganismes de type bactéries (Définition de l'auteur).
Microbiote	Ensemble de micro-organismes évoluant au sein d'un environnement qui lui est propre (exemple : microbiote intestinal) (Définition de l'auteur).
Monospécifique	D'une même espèce (Définition de l'auteur).
Natura 2000	Réseau écologique européen cohérent formé par les Zones de Protection Spéciales (ZPS) et les Zones Spéciales de Conservation (ZSC). Dans les zones de ce réseau, les Etats Membres s'engagent à maintenir les habitats et espèces concernés dans un état de conservation favorable. Pour ce faire, ils peuvent utiliser des mesures réglementaires, administratives ou contractuelles (Actu environnement, 2014).
Nitrification	Nom donné à la première phase de l'élimination biologique de l'azote, réalisée notamment dans les stations d'épuration. La nitrification est une des étapes du traitement d'une eau usée qui vise la transformation de l'ammonium (NH ₄ ⁺) en nitrate (NO ₃ ⁻). Cette transformation est réalisée par des bactéries, en milieu aérobie (Actu environnement, 2014).
Odonate	Insecte à métamorphose incomplète, à larve aquatique, tel que les libellules (Larousse, s. d.).
Oligotrophe	Milieu pauvre en substances nutritives, en particulier de certains lacs profonds et limpides, pauvres en éléments organiques, mais riche en oxygène (Larousse, s. d.).
Phytoépuration	Processus de traitement des eaux effectué par l'intermédiaire de l'activité de végétaux ou de microorganismes (Définition de l'auteur).
Pierrier	Amas de pierre et de terre pouvant servir d'habitat d'hiver à la petite faune (Définition de l'auteur).
Propagule	Toute partie de la plante qui sert à la propagation de l'espèce : spore, graine, prothalle, drageon, etc. (Sciences Eaux & Territoires, 2011).
Pulvérulent	Qui est réduit à l'état de poudre, qui à la consistance de la poussière (Larousse, s. d.).
Quadrat (ou cadrat)	Méthode d'étude de la végétation fondée sur l'observation d'un ensemble de surfaces élémentaires généralement carrées, dont la surface varie selon le milieu étudié de quelques dizaines de centimètres-carrés à quelques centaines de mètres-carrés. Dans le cas des points-cadrats, la surface étudiée est réduite à un point et l'observation est réalisée sur un ensemble de points (généralement 100) formant une ligne (Sciences Eaux & Territoires, 2011).
Richesse spécifique	Nombre d'individus d'une espèce évoluant sur un site (Définition de l'auteur).

Rhopalocère	Papillon, généralement diurne, aux antennes renflées en massue à leur extrémité, et aux ailes relevées au repos (Larousse, s. d.).
Réseau trophique	Ensemble de chaînes alimentaires reliées entre elles au sein d'un écosystème et par lesquelles l'énergie et la matière circulent entre les différents niveaux du réseau (Clewell et Aronson, 2010).
Résilience	Capacité d'un écosystème ou d'une espèce à récupérer un fonctionnement ou un développement normal après avoir subi un traumatisme (Sciences Eaux & Territoires, 2011).
Rudéralisation	Processus par lequel des végétaux ou un habitat écologique sont transformés par une activité humaine désordonnée (Définition de l'auteur).
Saproxylique	Nom désignant les espèces (fongiques, invertébrés, etc.) se nourrissant de bois décomposé (Définition de l'auteur).
Siccité	Qualité de ce qui est sec (Larousse, s. d.).
Standard de performance	Valeur ou seuil déterminé par le suivi, qui, lorsqu'il est obtenu, prouve qu'un objectif particulier a été atteint (Clewell et Aronson, 2010).
Stochastique	Phénomènes qui, partiellement, relèvent du hasard et font l'objet d'une analyse statistique (Larousse, s. d.).
Trajectoire d'un écosystème	Séquence d'expressions biotiques d'un écosystème du passé, à partir de laquelle les expressions futures peuvent être prédites (Clewell et Aronson, 2010).
Xérophile	Plante adaptée aux milieux secs (Larousse, 2015).
Zones Naturelles d'Intérêt Écologique Faunistique et Floristique	Zone naturelle présentant un intérêt écologique, faunistique ou floristique particulier ayant fait l'objet d'un inventaire scientifique national sous l'autorité du Muséum National d'Histoire Naturelle, pour le compte du Ministère de l'Environnement (Actu Environnement, 2014).

INTRODUCTION

« Tous les biologistes qui travaillent sur la biodiversité s'accordent à dire que, si nous continuons à détruire certains environnements naturels, à la fin du 21^{ème} siècle nous aurons éliminé la moitié ou davantage des plantes et animaux de la planète » (Wilson, 2007)

De nombreux scientifiques et chercheurs en écologie sont aujourd'hui formels : la planète Terre entamerait actuellement une sixième crise d'extinction de masse, en grande partie imputable à l'Homme. Les taux de disparition d'espèces fauniques et floristiques sont alarmants : entre 17 000 et 100 000 espèces disparaîtraient chaque année. Aucun milieu, qu'il soit terrestre ou aquatique, ne semble épargné par l'activité humaine. (Centre national de la recherche scientifique (CNRS), s. d.)

Les facteurs responsables de ce phénomène d'érosion de la biodiversité peuvent être regroupés en quatre, voire cinq grandes catégories : la surexploitation des ressources, la disparition ou transformation des habitats, les introductions d'espèces envahissantes et les pollutions anthropiques, auxquelles il est dorénavant possible d'ajouter le phénomène de réchauffement climatique. (Lévêque, 2010)

Or, bien que les efforts doivent être maintenus dans ce domaine, il n'apparaît, aujourd'hui, plus suffisant de se limiter à la simple préservation d'habitats restés « naturels » pour tenter d'enrayer ce phénomène d'érosion. Dans des pays fortement anthropisés, comme c'est le cas en Europe occidentale, une nouvelle stratégie, plus directe que les systèmes de certification environnementale, se doit d'être envisagée afin d'intégrer la prise en compte de la biodiversité aux contextes socio-économiques actuels. L'activité industrielle, regardée comme étant l'une des plus dommageables au milieu naturel, constituerait un angle d'attaque pertinent à considérer pour répondre à cette problématique. Mais par quel secteur commencer ? Et quelles méthodes, moyens et procédés utiliser ?

Si la perte d'habitats représente la principale menace pour la biodiversité, il paraîtrait logique de tenter (toujours en maintenant les efforts engagés dans la conservation d'habitats encore naturels) de contrebalancer le processus en recréant des habitats là où l'activité humaine a laissé son empreinte. La restauration écologique (processus visant à assister le rétablissement d'un écosystème dégradé) apparaît donc comme le concept le mieux adapté à la situation. Cet essai propose de considérer l'application de telles méthodes sur des installations de stockage de déchets (ISD) qui sont déjà soumises à des obligations réglementaires de réaménagement à la fin d'une période d'exploitation (*arrêté du 9 septembre 1997 relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux, arrêté du 30 décembre 2002 relatif au stockage de déchets dangereux et arrêté du 28 octobre 2010 relatif aux installations de stockage de déchets inertes*). L'idée serait alors d'aller au-delà du simple réaménagement paysager en envisageant,

par exemple, de développer des démarches scientifiques de restauration écologique en fin de vie d'un site. Dans une même optique, de tels projets pourraient également être entrepris dans le cadre de mesures compensatoires ou d'actions plus ponctuelles et purement volontaires.

La pertinence de cet essai réside dans la présentation et l'analyse critique de cette science encore nouvelle qu'est la restauration écologique en contexte industriel. En effet, il est, encore aujourd'hui, extrêmement difficile de rencontrer des ouvrages didactiques délivrant les clefs et conseils nécessaires pour entreprendre une telle démarche. La transposition de ces méthodes, du domaine de la gestion de territoires au domaine privé et industriel, est d'autant plus rare et manque actuellement cruellement. Cet essai devrait donc permettre d'apporter à la fois une aide et une réflexion nouvelles quant à la possibilité de restaurer certaines ISD ou certains espaces dégradés entourant les zones de stockage de déchets.

L'objectif général de cet essai est donc d'analyser les possibilités d'opérations de restauration écologique à mener sur des ISD en France. Pour parvenir à cela, plusieurs objectifs spécifiques ont été définis. Il a, dans un premier temps, fallu se questionner sur les différents impacts et enjeux économiques et environnementaux relatifs aux ISD afin de mettre en évidence la pertinence de s'investir pour la préservation de la biodiversité dans ce type de milieu. Les principales lignes directrices à suivre pour la réalisation d'une démarche de restauration au sein d'ISD ont également été ciblées (en vue de proposer une méthodologie pondérée et adaptée aux exploitants industriels) puis critiquées (afin de faire ressortir les biais et limites des projets actuels de restauration écologique). Deux exemples concrets ont ensuite été choisis afin d'illustrer de telles démarches à grande échelle. Les possibilités de transposition des méthodes employées dans le cadre de ces projets ont été analysées afin de juger de l'efficacité et de l'avenir de la restauration écologique au sein d'ISD. Finalement, des recommandations ont été formulées afin de proposer une amélioration des méthodes jusqu'alors utilisées au sein d'installations de stockage.

L'atteinte de l'ensemble de ces objectifs est, en partie, attribuable à la qualité et la pertinence des sources utilisées. Ces dernières ont, en effet, été analysées puis sélectionnées selon leur provenance (textes gouvernementaux, articles scientifiques, ouvrages et périodiques naturalistes, etc.), la date de leur publication, de leur rédaction ou de leur diffusion (un texte étant d'autant plus fiable qu'il est récent), la réputation et les antécédents de l'auteur et de la structure en charge de la publication ainsi que leur objectivité, la pertinence de leurs propos et la quantité suffisante d'informations qu'ils délivrent.

Le présent essai est articulé en six chapitres. Le premier d'entre eux présente le contexte du sujet, en explicitant les termes et concepts abordés tout au long de l'essai. L'activité de stockage de déchets ainsi que les installations exécutrices sont ainsi expliquées, de même que le domaine du génie écologique et

l'ensemble des concepts et principes qui y sont liés (restauration écologique, réhabilitation écologique, création d'habitats, etc.). Le deuxième chapitre présente le cadre réglementaire et législatif encadrant les exploitations de stockage de déchets en France. Un troisième chapitre permet ensuite de se questionner et de faire ressortir les différents impacts environnementaux imputables à l'activité de stockage de déchets, ainsi que les enjeux entourant la préservation de la biodiversité dans ce type de milieu industriel. Une liste de dix étapes est subséquemment présentée au sein d'un quatrième chapitre afin de proposer un exemple de lignes directrices à suivre lors de la réalisation de travaux de restauration écologique. Une mise en garde est également effectuée quant aux différentes limites que ce type de démarche peut présenter. Un cinquième chapitre présente ensuite deux exemples de projets pilotes de restauration écologique lancés sur d'anciens sites industriels perturbés en France, ainsi qu'un état des lieux succinct de démarches similaires entreprises au sein d'ISD. Enfin, un sixième et dernier chapitre permet de se pencher sur la réelle pertinence et les possibilités de transposition de telles démarches de restauration écologique au sein d'ISD. Il permet également d'apporter un point de vue quant aux perspectives d'évolutions envisageables pour la concrétisation de ce type de projets au sein de sites industriels aussi perturbés.

1 MISE EN CONTEXTE

Ce premier chapitre présente l'état actuel de l'activité de gestion des déchets en Europe et en France, en orientant le sujet vers le domaine de l'enfouissement de déchets ultimes. Une précision des termes et des procédés entourant la restauration écologique est également apportée au sein d'une seconde section.

1.1 La production et le traitement des déchets en Europe

Avant d'analyser le cas particulier de la France, il est nécessaire d'effectuer un rapide tour d'horizon à l'échelle de l'Union européenne afin de comprendre quelle place occupe ce pays en matière de production et de traitement des déchets. En observant les données de production de déchets par pays, la France affiche une quantité totale de plus de 355 millions de tonnes de déchets produits en 2010 (tableau 1.1).

Tableau 1.1 Production de déchets dans l'Union européenne en 2010, en million de tonnes
(inspiré de : Eurostat, 2010, page consultée le 25 février 2015)

	Non dangereux	Dangereux	Total	Tonnes/hab
Union européenne (27 pays)	2 402,3	99,5	2 501,9	5,0
Union européenne (15 pays)	1 799,4	72,1	1 871,5	ND
Belgique	58,1	4,5	62,5	5,7
Allemagne	343,6	19,9	363,5	4,4
Estonie	10,0	9,0	19,0	14,2
Irlande	17,8	2,0	19,8	4,4
Espagne	134,5	3,0	137,5	3,0
France	343,5	11,5	355,1	5,5
Italie	157,4	7,2	164,6	2,7
Pays-Bas	114,8	4,4	119,3	7,2
Autriche	33,4	1,5	34,9	4,2
Pologne	158,0	1,5	159,5	4,2
Portugal	36,7	1,6	38,3	3,6
Suède	115,1	2,5	117,6	12,5
Royaume-Uni	249,6	9,4	259,1	4,2

ND : donnée non disponible.

La France fait donc partie intégrante des plus grands producteurs de déchets de l'Union européenne lorsque l'on considère les quantités totales émises par pays. La fraction de déchets dangereux retranchée à cette valeur est également l'une des plus importantes, après l'Allemagne. Il n'y a que lorsque les résultats sont rapportés au tonnage par habitant, que des pays tels que la Belgique, l'Estonie, les Pays-Bas et la Suède deviennent plus « mauvais élèves » que la France.

Si l'analyse est maintenant recentrée sur les méthodes de traitements de déchets, la figure 1.1 ci-après fait apparaître une fraction non négligeable dédiée au recyclage qui place la France dans la moyenne européenne (qui est d'un peu moins de 50%). La part d'élimination et de stockage reste cependant encore élevée comparée à d'autres pays tels que l'Allemagne, l'Italie ou la Belgique.

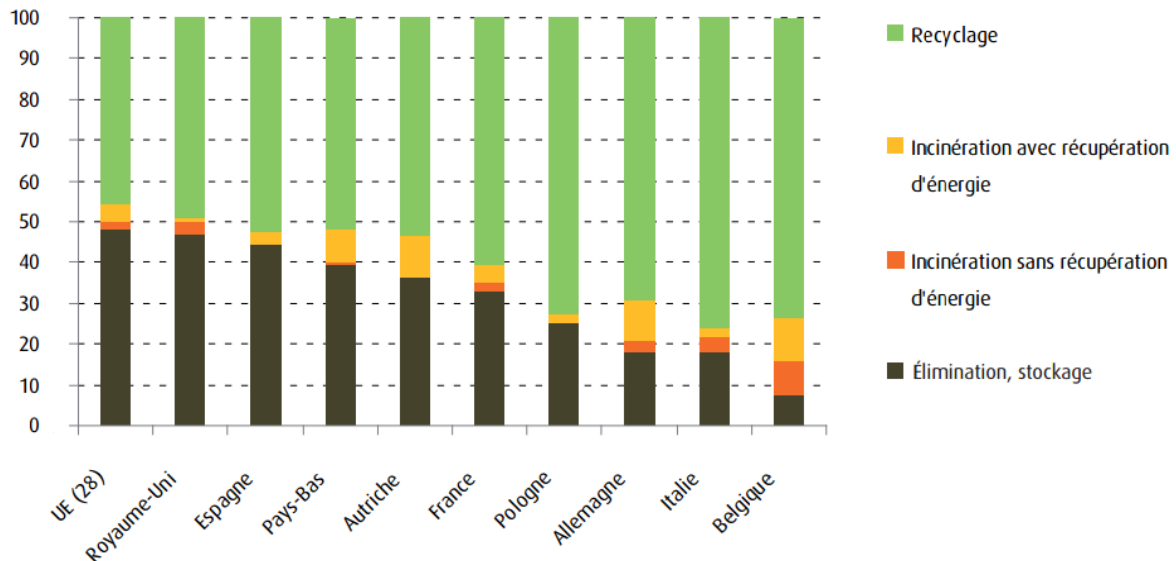


Figure 1.1 Traitement des déchets dans l'Union européenne en 2012, en pourcentage (tiré de : Commissariat général au développement durable, 2015a, p. 4)

1.2 Les chiffres nationaux

Comme il a été précisé au cours de la section précédente, la France produisait, en 2010, près de 355 millions de tonnes de déchets. À cette même date, 65,1 millions de tonnes étaient envoyées vers des installations de traitement des déchets ménagers et assimilés, dont 19,6 millions de tonnes spécifiquement envoyées vers les installations de stockage. Le budget des dépenses associées à la gestion de ces déchets a été estimé, l'année suivante, à 15,7 milliards d'euros. (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME), 2014)

À défaut d'études plus récentes, une projection dans le futur peut être avancée d'après la figure 1.2 ci-après. En effet, à moins d'un changement majeur des habitudes et modes de vie de la population française, il est probable que la croissance constatée quant à la production de déchets en France de 2004 à 2010 se soit maintenue après 2010 et continuera d'évoluer à la hausse dans le futur.

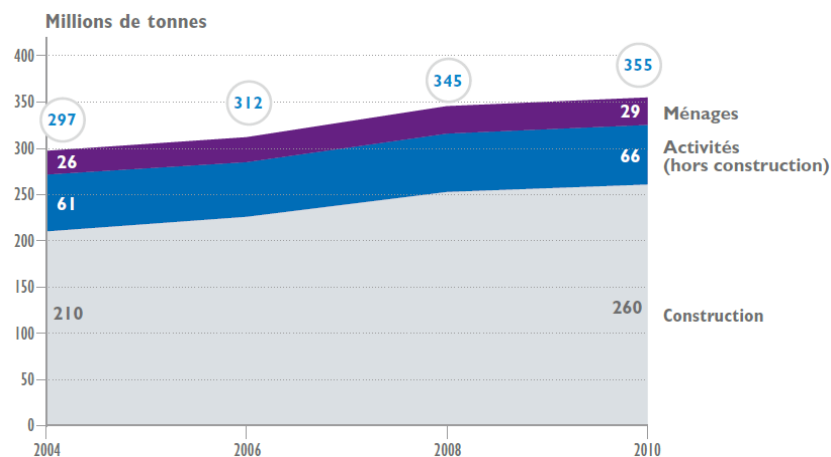


Figure 1.2 Évolution de la production de déchets en France de 2004 à 2010 (tiré de : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, 2014, p. 15)

Si un spectre plus fin est porté à cette analyse, il est possible d'observer que le stockage occupe, derrière le recyclage, la deuxième place des solutions de traitement de déchets, avec plus de 100 millions de tonnes de déchets traités par année entre 2008 et 2012. La figure 1.3 ci-dessous permet de réaliser la place importante que tient encore cette solution d'élimination en France.

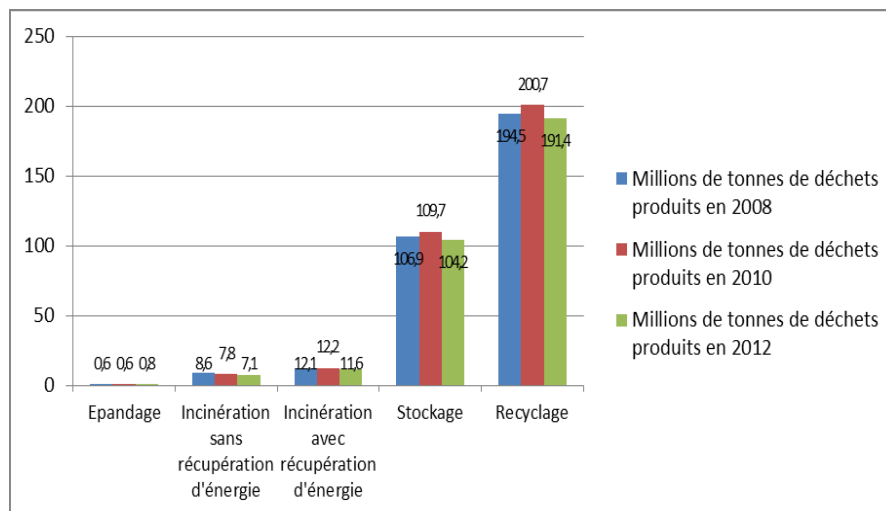


Figure 1.3 Traitement des déchets en France entre 2008 et 2012 (inspiré de : Commissariat général au développement durable, 2015b, p. 4)

La France est-elle donc un « mauvais élève » en matière de production de déchets ? Les chiffres semblent parler d'eux-mêmes et soutenir cette idée. À cela s'ajoute une certaine difficulté à s'écarter du « confort » évident de l'élimination des déchets par la solution de stockage ou de l'incinération.

Cette première sous-section permet de rendre compte de l'importance du système de gestion des déchets en France et donc des « pressions » nationales auxquelles les installations de traitement sont quotidiennement soumises. Bien que les solutions de recyclage occupent une part de plus en plus grande en France, le pays ne parvient pas encore à se détacher de la solution de stockage, contrairement à certains états d'Europe du Nord (Pologne, Allemagne, Belgique). Cette dépendance est responsable d'une forte demande en stockage de déchets, nécessitant le maintien de rendements soutenus dans ce type d'activité industrielle.

1.3 Les installations de stockage de déchets en France

La réglementation française relative aux processus de traitements des déchets a été renforcée, depuis les années 1970, afin de limiter au maximum les risques que ces derniers peuvent représenter pour l'environnement. Les anciennes « décharges » se sont progressivement muées en « centres d'enfouissement technique », qui sont eux-mêmes récemment devenus des « installations de stockage de déchets (ISD) ». À chaque changement de statut a été associé un renforcement des réglementations, mais également une importante évolution technique. Depuis les années 1990, de profonds changements ont donc vu le jour, tant sur les phases de conception que d'exploitation des ISD.

Avant d'envisager l'exploitation d'une nouvelle ISD, il est nécessaire d'analyser un maximum de données scientifiques (géologiques, topographiques, hydrogéologiques, chimiques, écologiques, etc.) afin de prévenir tout échange involontaire avec le milieu physique environnant (le sous-sol, les réseaux d'eaux souterraines et de surface, ainsi que l'air ambiant). Ces données influenceront le choix du site optimal ainsi que le type d'exploitation à mettre en place (aménagements, systèmes techniques, surfaces et zones d'exploitation, etc.). Elles influenceront même jusqu'à la phase post-exploitation, en déterminant les modes de gestion nécessaires à la fin de vie du site. La structure la plus importante à prendre en compte est alors celle du sol. En effet, ce dernier doit impérativement permettre d'assurer une certaine étanchéité afin d'éviter tout risque de pollution du réseau hydrographique. En France, les ISD sont habituellement construites selon une même structure. Les déchets sont stockés au sein de casiers, eux-mêmes divisés en plusieurs alvéoles dont l'étanchéité des parois résulte de la combinaison de matériaux répondant à une réglementation stricte d'imperméabilité (figure 1.4 et 1.5). Une géomembrane en polyéthylène, un géotextile de protection, ainsi qu'une barrière de sécurité passive composée d'au moins un mètre d'argile sont greffés au système afin d'ajouter à nouveau à son imperméabilité. (Billard, 2001)

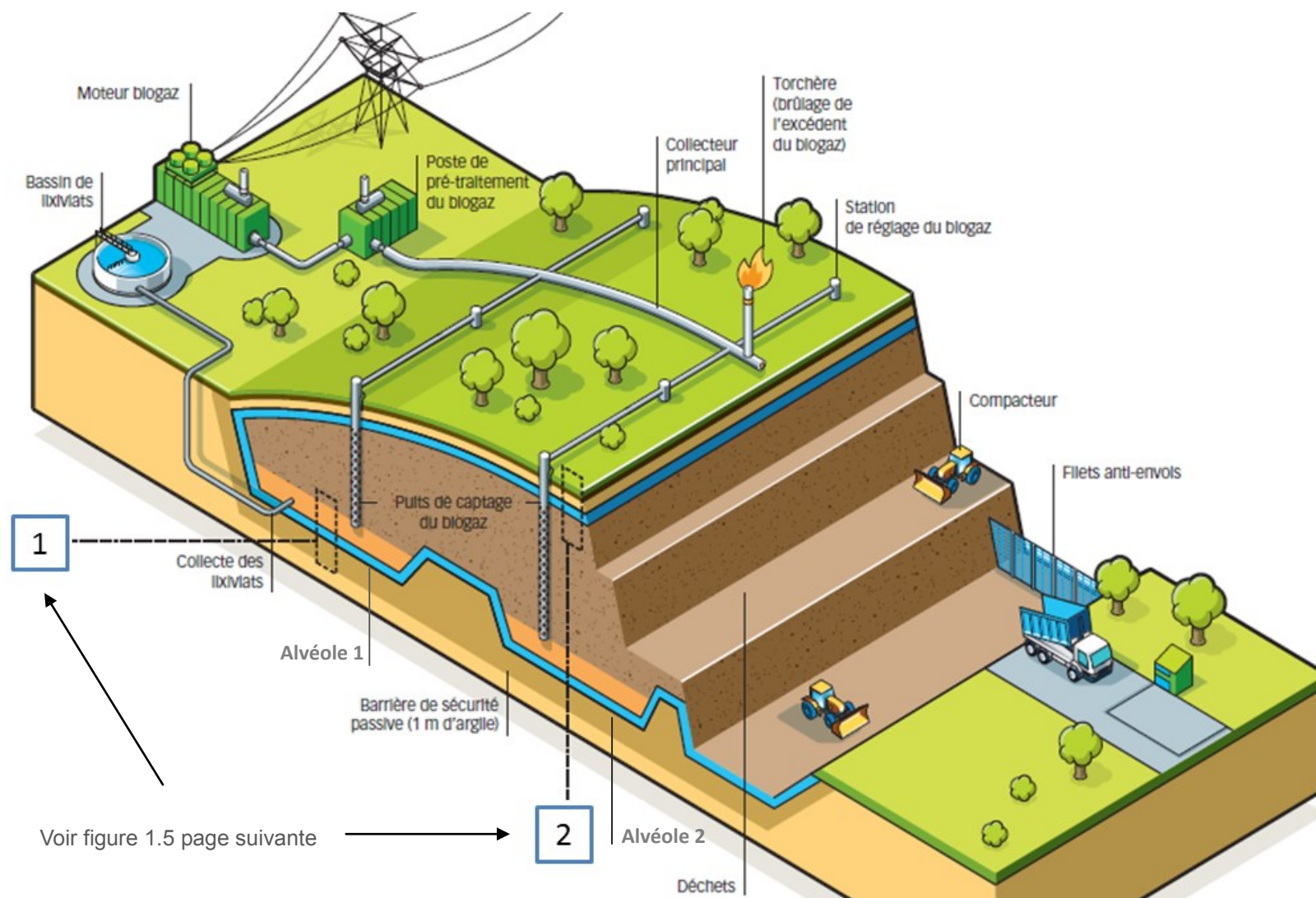


Figure 1.4 Exemple de coupe schématique du casier d'exploitation d'une ISD (inspiré de : SUEZ Environnement, s. d., p. 9)

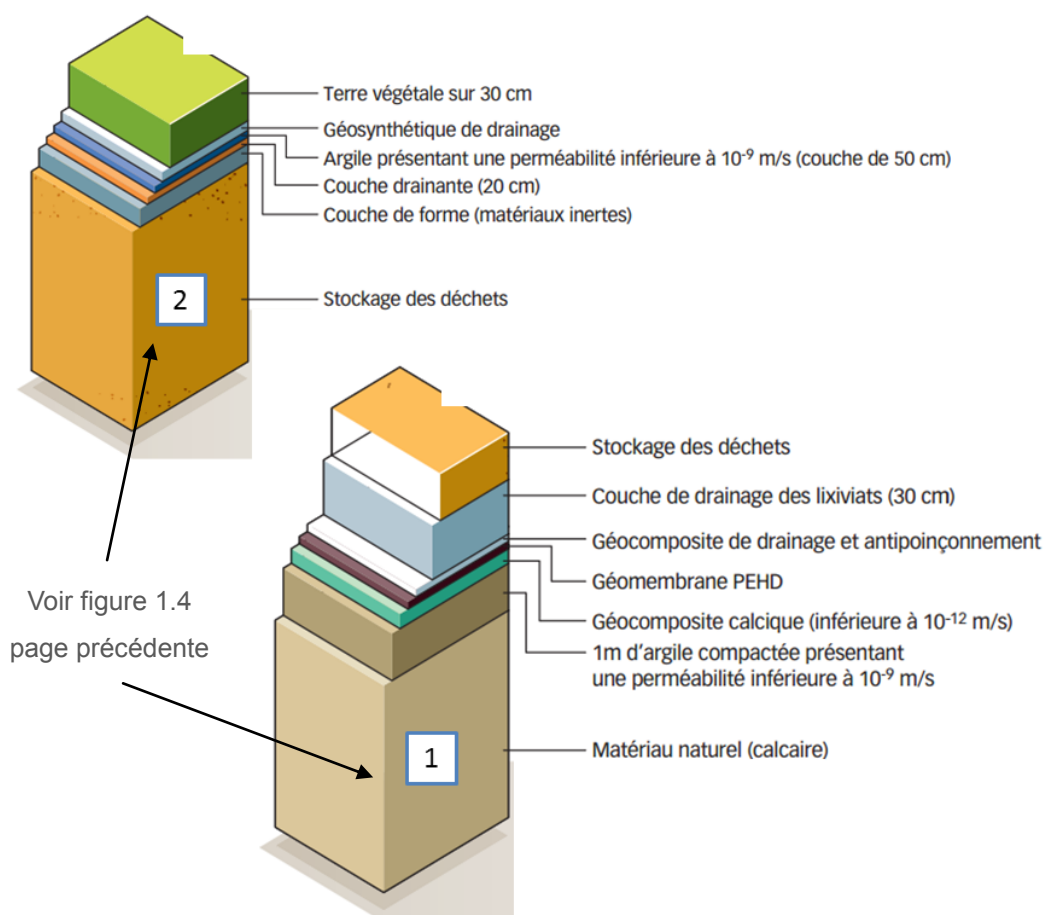


Figure 1.5 Coupe schématique des structures de fond et de couverture d'un casier de stockage de déchets (tiré de : Suez Environnement, s. d., p.9)

Afin d'éviter les risques de pollution, chacune des alvéoles est connectée à un premier réseau de drains, implantés en zone profonde et permettant de récolter les lixiviats (résidus liquides chargés en matières polluantes minérales et organiques) ayant percolés au sein de la zone de stockage de déchets. Ces derniers sont alors traités selon différentes modalités possibles. Lorsque le contexte le permet, une station d'épuration est mise en place sur le site. Dans le cas contraire, les lixiviats sont soit pompés puis acheminés vers une station d'épuration externe, soit stockés jusqu'à l'atteinte des capacités maximum, où ils peuvent alors être traités par une station d'épuration mobile mandatée pour accomplir cette tâche. Dans le cas où l'installation d'une station d'épuration est possible sur le site, les lixiviats sont le plus souvent acheminés jusqu'à des lagunes de stockage puis des réacteurs biologiques ou des bassins de traitements. Ces deux types de structures permettent alors de traiter biologiquement les lixiviats par un système de nitrification puis dénitrification d'origine bactérienne. Ce mécanisme est, le plus souvent, couplé à une méthode de filtration mécanique par charbon actif ou filtres céramiques par exemple. Une première unité d'ultrafiltration permet de séparer les eaux des boues à traiter, pendant que le charbon actif ou les systèmes similaires viennent capturer les éléments polluants résiduels.

La deuxième source de pollution des alvéoles de stockage est le gaz issu de la fermentation des déchets. Un deuxième réseau de tuyauterie vient donc parcourir chaque alvéole afin de capter ce biogaz dans une optique de valorisation énergétique ou, à défaut, d'élimination par système de torchère.

Une fois que la phase d'exploitation de l'alvéole est terminée, un aménagement étanche surmonté de terre végétale est appliqué afin de permettre la mise en place d'une couverture végétale.

Dans le cas particulier des installations réservées au stockage de déchets dangereux, le système d'étanchéité est renforcé. Des unités de stabilisation et de solidification, ainsi que l'installation d'un laboratoire, sont obligatoires afin de se conformer aux seuils autorisés.

Une fois la phase d'exploitation terminée, il est impératif de continuer le traitement des effluents (biogaz et lixiviats) sur le site. En France, l'obligation réglementaire de suivi post-exploitation d'un site est fixée, *a minima*, à trente ans. Il arrive néanmoins que certains sites soient exploités en tant que bioréacteurs afin d'accélérer les processus de biodégradation des déchets et ainsi augmenter les capacités de valorisation énergétique pour réduire la période de suivi de la structure à long terme. (Suez Environnement, 2014)

1.4 Les différentes installations de stockage de déchets

Il existe en France trois grands types d'ISD. Ces dernières sont définies en fonction des catégories et de la nature des déchets qu'elles sont autorisées à stocker sur leur site. On distingue ainsi l'installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND), l'installation de stockage de déchets inertes (ISDI) et l'installation de stockage de déchets dangereux (ISDD).

1.4.1 Les installations de stockage de déchets non dangereux

Anciennement nommées « centres d'enfouissement de classe 2 », les ISDND sont destinées à accueillir les déchets d'origine non dangereuse, soit les déchets ménagers et assimilés, ainsi que les déchets non dangereux des entreprises. Comme stipulé au deuxième alinéa de l'article L. 541-24 du *Code de l'Environnement* français, depuis le premier juillet 2002, les ISDND ne sont autorisées à accepter que les déchets désignés comme « ultimes ». Est considéré comme ultime, au regard de la *Loi n° 92-646 du 13 juillet 1992 relative à l'élimination des déchets ainsi qu'aux installations classées pour la protection de l'environnement* :

« Un déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux ».

Au moment de sa parution, cette loi avait pour objectif de stopper les décharges sauvages, alors encore nombreuses en France. L'ensemble des déchets doit donc, dorénavant, uniquement être acheminé vers des installations de stockage reconnues et encadrées par le système réglementaire et législatif français.

Les ISDND représentent encore actuellement le moyen de traitement et d'élimination le plus utilisé en France, gérant plus d'un tiers des déchets ménagers et assimilés ainsi que certains résidus ou sous-produits d'autres filières de traitement et de valorisation, tels que les refus de tri et les mâchefers. (Suez Environnement, 2014)

Toutes les ISDND sont désignées comme « installations classées pour la protection de l'environnement » (ICPE) et voient donc leurs projets de construction, d'exploitation et de fermeture, soumis à des règles plus strictes et de plus en plus contraignantes (voir chapitre 2).

La figure 1.6 présente le nombre, par département, d'ISDND en France en 2010. Il s'agit encore actuellement de la catégorie d'ISD la plus représentée sur le territoire.

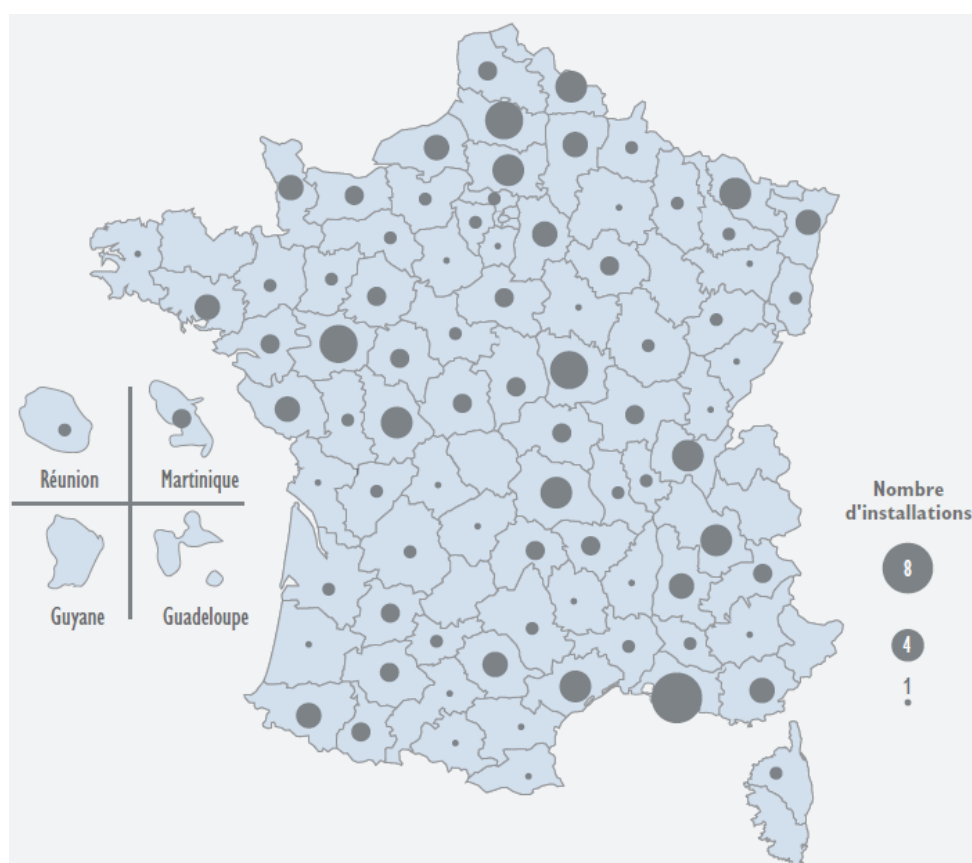


Figure 1.6 Nombre d'installations de stockage de déchets non dangereux en France, en 2010
(tiré de : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, 2014, p. 55)

1.4.2 Les installations de stockage de déchets inertes

Anciennement nommées « centres d'enfouissement technique ou décharge de classe 3 », les ISDI sont destinées à accueillir les déchets dits « inertes », tels que les gravats, les tuiles, les pavés, etc. Au sens strict de la directive *1999/31/CE du conseil du 26 avril 1999* et de l'article *R. 541-8 du Code de l'environnement*, un déchet inerte serait donc :

« Tout déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante, qui ne se décompose pas, ne brûle pas, ne produit aucune réaction physique ou chimique, n'est pas biodégradable et ne détériore pas les matières avec lesquelles il entre en contact d'une manière susceptible d'entraîner des atteintes à l'environnement ou à la santé humaine ».

Les ISDI, dont le statut a dernièrement été reconsidéré par le *Décret n° 2014-1501 du 12 décembre 2014 modifiant la nomenclature des installations classées*, sont, depuis le 1^{er} janvier 2015, également rattachées au régime d'ICPE, sous la contrainte du premier niveau d'exigence : l'enregistrement (voir chapitre 2).

1.4.3 Les installations de stockage de déchets dangereux

Anciennement nommées « centres d'enfouissement technique de classe 1 », les ISDD sont destinées à accueillir les déchets industriels dangereux après stabilisation préalable si nécessaire. La réglementation française stipule que :

« Quelle que soit son origine et la quantité produite, un déchet est dangereux s'il présente une ou plusieurs des propriétés listées dans l'annexe I de l'article *R541-8 du Code de l'environnement*. La gestion des déchets dangereux est encadrée par des exigences réglementaires spécifiques. » (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, 2009)

La liste des propriétés des déchets dangereux définie par l'article *R541-8 du Code de l'environnement* est disponible en annexe 1. Ces déchets, bien qu'assez stables et peu évolutifs, présentent tout de même un fort potentiel de pollution directe ou diffuse de l'environnement (Suez Environnement, 2014). L'ensemble de ces installations est évidemment soumis au régime d'ICPE.

1.5 Le génie écologique

Maintenant que les aspects techniques relatifs à la production et au stockage des déchets en France ont été abordés, cette section va présenter rapidement les notions de base entourant la gestion écologique de sites naturels perturbés.

1.5.1 Généralités écologiques

Selon le rapport sur l'évaluation des écosystèmes pour le millénaire, également nommé *Millenium Ecosystem Assessment* (MEA) de 2005, cinq principales pressions et menaces pèsent aujourd'hui sur les milieux naturels ainsi que sur la faune et la flore sauvages :

- « - La perte d'habitats et la fragmentation des milieux naturels ;
- Les espèces exotiques envahissantes ;
- La pollution des milieux terrestres et marins ;
- La surexploitation de certaines espèces ;
- Et plus récemment, les changements climatiques ».

L'impact anthropique sur la biodiversité est donc omniprésent et représente une menace grandissante quant au maintien d'écosystèmes viables et à la survie de nombreuses espèces. Le monde de l'industrie possède une certaine part de responsabilité, plus ou moins importante, dans chacune des cinq grandes menaces identifiées depuis 2005 par le MEA. Si une véritable prise de conscience a vu le jour depuis le milieu du siècle dernier, entraînant la multiplication de programmes, réformes, plans et investissements dans l'enjeu de sauvegarde de la biodiversité, il sera difficile de stopper ce processus vicieux d'érosion de la biodiversité enclenché depuis si longtemps. Pour tenter d'y parvenir, il est indispensable de considérer la problématique sous tous ses angles. Ainsi, la préservation, la sauvegarde et l'entretien des milieux naturels encore « sains » constituent le premier pas, indispensable au maintien du patrimoine génétique et naturel présent sur la planète. L'investissement des efforts dans les changements à la fois politiques, économiques et socio-culturels est aussi important. Ce sont les modes de vie et habitudes de populations entières qu'il est actuellement nécessaire de modifier pour obtenir un résultat satisfaisant. Enfin, et c'est l'axe principal qui sera développé tout au long de cet essai, il est également nécessaire de s'investir dans des enjeux de résilience et de recréation d'habitats afin de restaurer le capital naturel de la planète. Ainsi, bien qu'il ne faille en aucun cas stopper les efforts investis dans la sauvegarde d'habitats encore épargnés par l'action de l'Homme, agir sur les milieux déjà perturbés et leur permettre de retrouver une fonction viable et un rôle intégral au sein de l'écosystème constitue une piste de solution tout aussi pertinente et efficace.

Pour parvenir à ces fins, de nouvelles disciplines scientifiques sont récemment apparues sur le marché du travail. Génie écologique, ingénierie écologique, génie végétal, restauration écologique ou encore services écosystémiques sont autant d'approches de plus en plus utilisées sur les scènes tant nationales qu'internationales, et qui traduisent un intérêt croissant pour ces concepts émergents.

1.5.2 Du génie écologique à la restauration écologique

Le génie écologique a pour but d'assurer la préservation, le maintien et le développement de la biodiversité par la mise en place d'actions telles que l'entretien, la restauration, la réhabilitation, la réaffectation ou la création de nouveaux écosystèmes de manière la plus durable qui soit et en prenant en compte leurs fonctionnalités, la diversité des habitats naturels et l'ensemble des interactions qui les sous-tendent (Laugier, 2012). Cet ensemble de méthodes et concepts peut remplir un bon nombre de rôles relevant de différents secteurs d'activité tels que :

- L'optimisation des services écosystémiques, notamment en matière de gestion des eaux pluviales et des eaux usées, de filtres de plantations assurant le traitement d'effluents industriels ou agricole, de génie végétal, etc. ;
- L'intégration écologique de zones d'exploitation, par création de zones arborées, enfrichées ou enherbées, ou encore par réhabilitation de sites industriels, etc. ;
- La restauration des milieux naturels (cours d'eau, dunes, pelouses calcaires, etc.). (Laugier, 2012)

On observe ici le lien direct entre les concepts de génie écologique et de restauration écologique : le premier terme englobe tout simplement le second. Si de nombreuses définitions de la restauration écologique existent, celle de Monsieur James Aronson, chercheur au centre d'écologie fonctionnelle et évolutive de Montpellier, semble la plus précise, exhaustive et compréhensive :

« Au sens strict, la restauration écologique est le processus d'assister la régénération des écosystèmes qui ont été dégradés, endommagés ou détruits. Il s'agit donc d'une activité intentionnelle qui initie ou accélère le rétablissement d'un écosystème antérieur par rapport à sa composition spécifique, sa structure communautaire, son fonctionnement écologique, la capacité de l'environnement physique à supporter les organismes vivants et sa connectivité avec le paysage ambiant. Ceci nécessite une bonne connaissance de l'écologie fonctionnelle et évolutive des écosystèmes ciblés, de l'histoire de la dégradation anthropique et, enfin, le choix d'un écosystème de référence pour guider la planification, la réalisation, le suivi et l'évaluation du projet de restauration ». (Aronson, 2010)

1.5.3 Les domaines voisins de la restauration écologique

Bien que la définition proposée par Aronson (2010) soit des plus explicites, de nombreux concepts proches de celui de la restauration écologique ont émergé dans un même mouvement et sont venus ajouter de nouvelles sources de confusion à ce domaine. Il est donc important de définir chacun d'entre eux afin d'écartier toute ambiguïté sur le sujet d'étude de cet essai :

- À l'instar de la restauration écologique, un autre concept se base sur des écosystèmes de référence afin de recréer un écosystème viable : celui de la réhabilitation écologique. La différence entre les deux termes réside essentiellement dans le but réel de la démarche. En effet, la

restauration écologique cherche à recréer un écosystème fonctionnel dans son intégralité et en prenant en compte l'ensemble des facteurs, y compris l'intégrité biotique préexistante en matière de composition spécifique et de structure des communautés (Aronson, 2010). A l'inverse, la réhabilitation insiste davantage sur le rétablissement des processus écologiques et donc, sur le retour d'une productivité de l'écosystème utile à l'Homme. La réapparition d'une certaine biodiversité et de la structure de référence dans son intégralité fonctionnelle reste donc secondaire.

- Une deuxième notion, également très proche du terme de restauration écologique, est celle de réaffectation écologique. Aucun écosystème historique de référence n'est cette fois-ci considéré, le but étant, en effet, de permettre un nouvel usage (habituellement économique) au milieu considéré.

Les termes de restauration, de réhabilitation et de réaffectation sont donc techniquement assez similaires. Néanmoins, si les méthodes employées dans chacune des démarches restent semblables, c'est au niveau des buts poursuivis que la différence devient flagrante. En résumé, selon Aronson (2010) : « la restauration tend vers le retour de l'écosystème à sa trajectoire historique. La réhabilitation insiste sur la réparation. La réaffectation vise un autre usage. »

D'autres concepts, moins directement reliés à celui de restauration écologique, sont également à définir afin d'éviter toute ambiguïté. Parmi eux :

- La création d'habitats vise l'établissement ou le remplacement intentionnel d'un écosystème par un autre de plus grande valeur. Parfois couplée à une restauration, la création d'habitats est un des concepts les plus souvent utilisés lors des processus de mesures compensatoires. (Laugier, 2012)
- La gestion d'écosystèmes est une notion beaucoup plus large que celles abordées précédemment. Elle vise à maintenir l'intégrité écologique d'un milieu à différents échelons d'organisation (espèces, populations, méta-populations, communautés, méta-communautés, écosystèmes), ainsi que les processus écologiques et évolutifs qui lui sont propres. La gestion permet donc de limiter ou compenser les impacts anthropiques engendrés sur ce milieu naturel.
- L'ingénierie écologique désigne le recours à des matériaux d'origine naturelle, à des organismes vivants ou simplement à l'environnement physico-chimique d'un milieu, afin de résoudre des problèmes d'ordre technique et ainsi répondre aux besoins spécifiques des hommes. Elle se démarque de l'ingénierie civile classique, basée sur des matériaux d'origine anthropique (béton, acier, etc.), en intégrant des modalités d'aménagement durable des territoires et d'organisation d'activités économiques visant à minimiser l'impact que l'Homme peut avoir sur les milieux naturels. (Laugier, 2012) L'ingénierie écologique désigne donc plutôt l'ensemble des méthodes et techniques utilisées pour réaliser des démarches de génie écologique.

- Enfin, une autre notion peut également être abordée : celle de l'architecture paysagère. Même si cette technique vise moins la conservation ou le rétablissement d'une intégrité écologique à proprement parler, elle permet de créer, recréer ou relier des ensembles structurels naturels. L'aspect esthétique (« le design » ou « la conception ») prévaut alors souvent sur la dimension plus stratégique et fonctionnelle que la restauration écologique peut présenter.

2 CONTEXTE LÉGISLATIF ET RÉGLEMENTAIRE

Fixer le cadre juridique entourant les ISD permet de mieux comprendre les enjeux réglementaires et environnementaux résultant de telles activités. Ce chapitre présente, dans cette optique, les principes directeurs encadrant l'exploitation d'ISD sur le territoire français.

2.1 La législation et la réglementation applicables aux ISD

Avant d'aborder le cas particulier de la prise en compte de la biodiversité au sein des ISD, cette section va présenter les textes généraux et résumer les prescriptions et textes de lois les plus importants à prendre en compte dans ce type d'activités. Étant soumises à des contraintes réglementaires plus strictes, le cas des ISDD sera, cette fois-ci abordé en premier.

2.1.1 Le cas des ISDD

Une ISDD, qui peut accueillir des déchets désignés comme « dangereux », est soumise à des conditions d'admission strictes. Ces critères sont fixés par l'*Arrêté ministériel du 30 décembre 2002 relatif au stockage de déchets dangereux*. Ne sont ainsi acceptés au sein d'une ISDD que les déchets dont :

- Le pH est compris entre 4 et 13 ;
- La fraction soluble globale est inférieure à 10% en masse de déchets secs ;
- La siccité est supérieure à 30% en masse de déchets sec ;
- L'éluat (solution obtenue lors de tests de lessivage simulés en laboratoire) présente les concentrations citées au tableau 2.1.

Tableau 2.1 Concentrations limites (en polluants) des déchets admis dans des ISDD (inspiré de : Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie (DRIEE), 2012, page consultée le 16 mars 2015)

COT < 1 000 mg/kg	Cr < 70 mg/kg	Pb < 50 mg/kg	Zn < 200 mg/kg
Cd < 5 mg/kg	Ni < 40 mg/kg	As < 25 mg/kg	Hg < 2 mg/kg
Ba < 300 mg/kg	Cu < 100 mg/kg	Mo < 30 mg/kg	Sb < 5 mg/kg
Se < 7 mg/kg	Fluorures < 500 mg/kg		

COT = Carbone organique total ; Cr = Chrome ; Pb = Plomb ; Zn = Zinc ; Cd = Cadmium ; Ni = Nickel ; As = Arsenic ; Hg = Mercure ; Ba = Baryum ; Cu = Cuivre ; Mo = Molybdène ; Sb = Antimoine ; Se = Sélénium

Pour ce qui est de la phase de conception de l'ISDD, de nombreuses prescriptions (concernant notamment le captage des lixiviats, la mise en alvéoles et la couverture finale) sont à appliquer afin de réduire au maximum les risques qu'une telle installation peut représenter pour l'environnement.

Concernant la mise en alvéoles, trois axes directeurs ont pour objectif de limiter les infiltrations d'eau. Tout d'abord, la stabilité de l'ensemble des déchets doit être assurée dès le début de l'exploitation. Ces derniers doivent ensuite être stockés par groupes de compatibilité au sein des différents casiers ou alvéoles. Enfin, il est primordial de n'enclencher l'exploitation d'un nouveau casier qu'une fois le réaménagement du précédent effectué (réaménagement final ou couverture intermédiaire). (*Arrêté du 30 décembre 2002 relatif au stockage de déchets dangereux*)

Au sujet des lixiviats, une couche de matériaux drainants d'au moins 50 centimètres d'épaisseur doit être mise en place et accompagnée d'un géotextile anti-poinçonnement (ayant pour rôle de protéger la géomembrane bordant le fond et les côtés de l'alvéole). La charge hydraulique exercée sur la géomembrane ne doit pas excéder 30 centimètres. (*Arrêté du 30 décembre 2002 relatif au stockage de déchets dangereux*) La figure 2.1 présente un exemple de structure réceptrice de déchets dangereux.

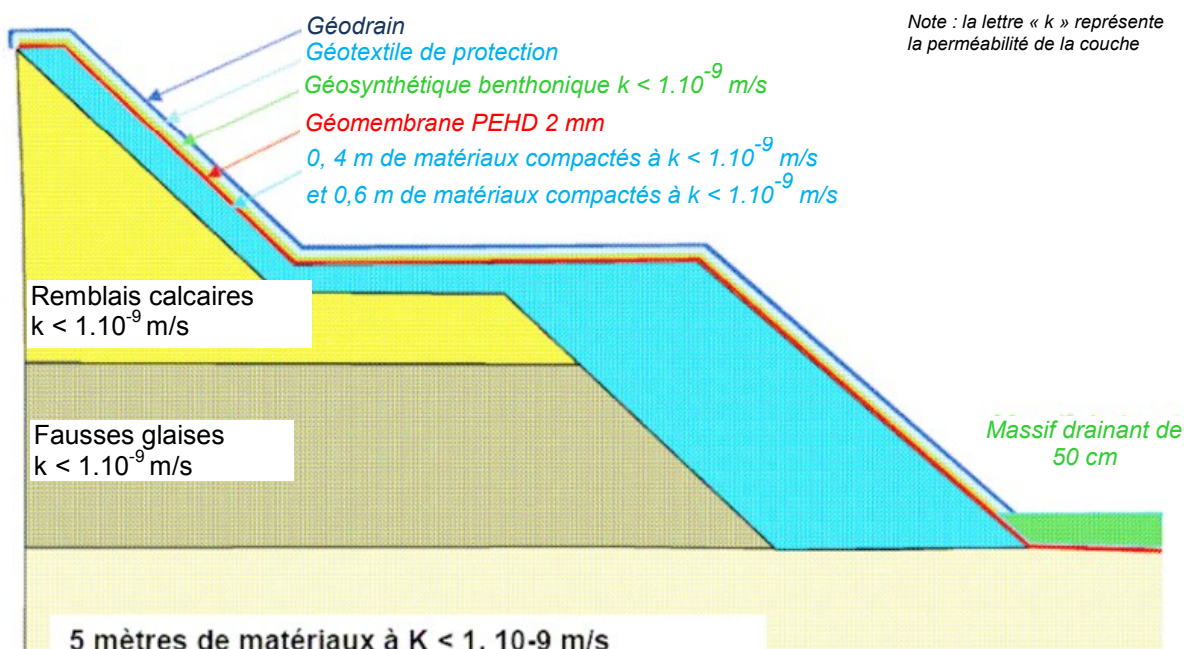


Figure 2.1 Exemple d'agencement d'une structure réceptrice de déchets dangereux (tiré de : Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie (DRIEE) Île de France, 2012, page consultée le 16 mars 2015)

Viennent enfin les critères concernant la couverture finale de la zone d'exploitation du site (figure 2.2 ci-après). Cette dernière possède un rôle tout aussi important car elle doit, en plus de permettre l'intégration paysagère finale de l'ISDD, empêcher l'infiltration des eaux de pluie et faciliter le suivi d'éventuels rejets suite à l'arrêt d'exploitation du casier. Cette couverture finale doit être mise en place au plus tard huit mois après l'atteinte de la capacité maximale de stockage des déchets. Elle doit

présenter une pente de 5% minimum et doit permettre de limiter les facteurs d'érosion, tout en facilitant l'écoulement des eaux de ruissellement. En attendant le recouvrement final, une couverture temporaire doit obligatoirement être installée. (*Arrêté du 30 décembre 2002 relatif au stockage de déchets dangereux*)

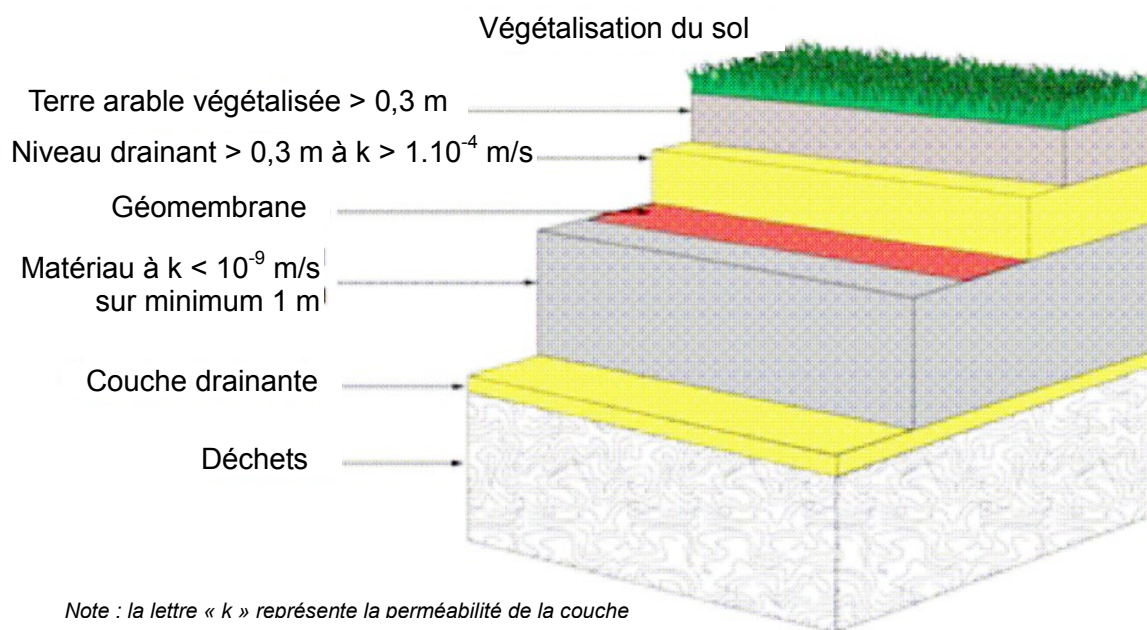


Figure 2.2 Coupe schématique de la couverture finale du massif de déchets d'une ISDD (tiré de : DRIEE Île de France, 2012, page consultée le 16 mars 2015)

2.1.2 Le cas des ISDND

Une ISDND ne peut accueillir que des déchets dits « non dangereux », ainsi que des déchets d'amiante liés à des matériaux inertes ou des déchets de terres amiantifères. Lors de la livraison, la non-radioactivité du chargement de déchets, ainsi que l'aspect visuel, doivent être vérifiés.

Concernant la mise en alvéole, quatre axes directeurs ont pour objectif de limiter les infiltrations d'eau au sein des massifs de déchets. Comme pour les ISDD, la stabilité de l'ensemble des déchets doit être assurée dès le début de l'exploitation afin, notamment, d'éviter les glissements. Il est également primordial de n'enclencher l'exploitation d'un nouveau casier qu'une fois le réaménagement du précédent effectué (réaménagement final ou couverture intermédiaire). Cependant, dans le cas des ISDND, les déchets doivent être stockés par couches successives puis compactés au sein des alvéoles ou des casiers. Enfin, afin de limiter la propagation de particules et diminuer les nuisances olfactives, chacune des couches de déchets doit régulièrement être recouverte. Il est donc nécessaire de mettre en place « un système permettant de limiter les envols et de capter les éléments légers

néanmoins envolés » et de nettoyer régulièrement les abords des casiers et alvéoles. (*Arrêté du 9 septembre 1997 relatif aux décharges existantes et aux nouvelles installations de stockage de déchets ménagers et assimilés*)

Pour le restant des thèmes abordés au sein des textes, les prescriptions sont sensiblement les mêmes que pour les ISDD.

2.1.3 Le cas des ISDI

Les ISDI constituent un cas différent, car elles accueillent des déchets inertes représentant un danger moindre pour l'environnement. En effet, au regard de la loi, les déchets acceptables au sein de ce type d'installation :

« ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. » (*Arrêté du 28 octobre 2010 relatif aux installations de stockage de déchets inertes*)

Sont interdits au sein des ISDI :

- « les déchets liquides ou dont la siccité est inférieure à 30 % ;
- les déchets dont la température est supérieure à 60 °C ;
- les déchets non pelletables ;
- les déchets pulvérulents, à l'exception de ceux préalablement conditionnés ou traités en vue de prévenir une dispersion sous l'effet du vent. » (*Arrêté du 28 octobre 2010 relatif aux installations de stockage de déchets inertes*)

Pour le restant des thèmes abordés au sein des textes, les prescriptions sont sensiblement les mêmes que pour les ISDND.

2.2 L'inscription au régime français d'Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

Le régime d'Installation Classée pour la Protection de l'*Environnement* (ICPE) regroupe, en France, l'ensemble des exploitations industrielles ou agricoles susceptibles de présenter des risques ou d'engendrer des nuisances ou pollutions pour la sécurité et la santé publique ainsi que pour l'environnement (Inspection des Installations Classées (IIC), s. d.).

2.2.1 Le régime de classement ICPE

Selon le type d'activités qu'elles exercent et les risques ou nuisances qu'elles sont susceptibles de générer, les exploitations industrielles sont soumises à cinq niveaux de classement différents (IIC, s. d. et Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE), 2012b) :

- Les sites non-classés (NC) représentent les activités peu dommageables à l'environnement et donc en dehors des seuils de classement de la nomenclature ICPE. Les installations en question ne sont pas soumises au régime ICPE et relèvent de la juridiction de la police et du maire.
- Le niveau de déclaration (D) est imposé aux installations étant soumises à simple déclaration au préfet, car ne présentant qu'un risque acceptable pouvant être encadré par des arrêtés types.
- Le niveau de déclaration avec contrôle (DC) ajoute à l'obligation de déclaration au préfet, la nécessité d'un contrôle périodique devant être réalisé par un organisme agréé par le MEDDE (*articles R.512-56 à R.512-66 et article R.514-5 du Code de l'environnement*).
- Le niveau d'enregistrement (E) exige la déposition d'une demande d'enregistrement obligeant « l'adéquation du projet avec les préconisations générales applicables » (MEDDE, 2012b). La décision d'accepter la demande revient alors au préfet, après une phase de consultation des conseillers municipaux ainsi qu'une phase de réalisation d'enquêtes publiques.
- Le niveau d'autorisation (A) constitue la demande la plus contraignante et concerne les installations représentant les risques les plus élevés pour la sécurité, la santé publique et l'environnement. L'entité doit, dans ce cas, effectuer une demande d'autorisation auprès du préfet. Pour ce régime, une étude d'impact ainsi qu'une étude exhaustive de dangers doivent être effectuées afin de démontrer l'acceptabilité des risques. Dans le cas d'un avis positif, un arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter (adaptable à chaque cas de figure) est émis.
- Le niveau d'autorisation avec servitude (AS) vient renforcer les contraintes légales d'un régime d'autorisation pour les installations présentant de forts risques technologiques. Des servitudes d'utilité publique sont alors ajoutées aux prérequis afin d'empêcher l'installation de tiers à proximité de ces sites à hauts risques.

Ces niveaux de classement, en fixant les modalités légales, techniques et financières de fonctionnement des installations, sont capitaux et représentent la base de toute démarche d'exploitation. Ce sont eux qui, à plus ou moins long terme, vont permettre de décider de la concrétisation d'un projet de construction ou du maintien d'activités d'exploitation.

2.2.2 Les cas particuliers

Il existe, dans le cadre du régime d'ICPE, deux cas particuliers importants à retenir pour un exploitant : la modification de l'activité et le changement de propriétaire.

Toute nouvelle activité (représentant un risque au regard de la nomenclature des ICPE), toute modification dans les processus de fonctionnement, tout changement de matières premières ou toute autre modification sensible de l'activité d'une installation, doit être signalée à l'IIC. Dès lors :

- Dans le cas d'une modification non notable, l'exploitant n'a pas besoin d'engager de démarches supplémentaires.
- Dans le cas de modifications notables mais non susceptibles de représenter de nouveaux risques, l'exploitant est tenu de présenter un deuxième dossier explicatif à une commission consultative départementale nommée conseil de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques (CODERST). De nouvelles prescriptions sont alors émises afin de prendre en compte ces modifications.
- Enfin, dans le cas de changements notables et susceptibles de représenter de nouveaux risques, une deuxième demande d'autorisation doit être présentée au préfet selon les modalités énoncées à la sous-section précédente.

Un second cas singulier est également important à prendre en considération lors de l'activité de certaines installations. En effet, les *articles R.512-68 et R.512-74 à R.512-80 du Code de l'Environnement* précisent que, lorsque certaines entités viennent à changer d'exploitant, une nouvelle déclaration à la préfecture doit être effectuée au cours du mois suivant. Si cette disposition ne concerne pas toutes les installations classées, les ISD en font partie et doivent la considérer avant chaque éventualité de changement d'exploitant.

2.3 Les obligations légales et réglementaires des ISD liées à la biodiversité

Afin de considérer de façon la plus exhaustive qui soit l'ensemble des impacts environnementaux imputables aux ISD, plusieurs études écologiques peuvent ou doivent être effectuées, de la naissance du projet à la fin d'exploitation. Si la plupart d'entre elles relèvent d'obligations réglementaires, d'autres peuvent être entreprises de façon volontaire. La figure 2.3 ci-après regroupe l'ensemble des études susceptibles d'être réalisées tout au long d'un projet d'ISD.

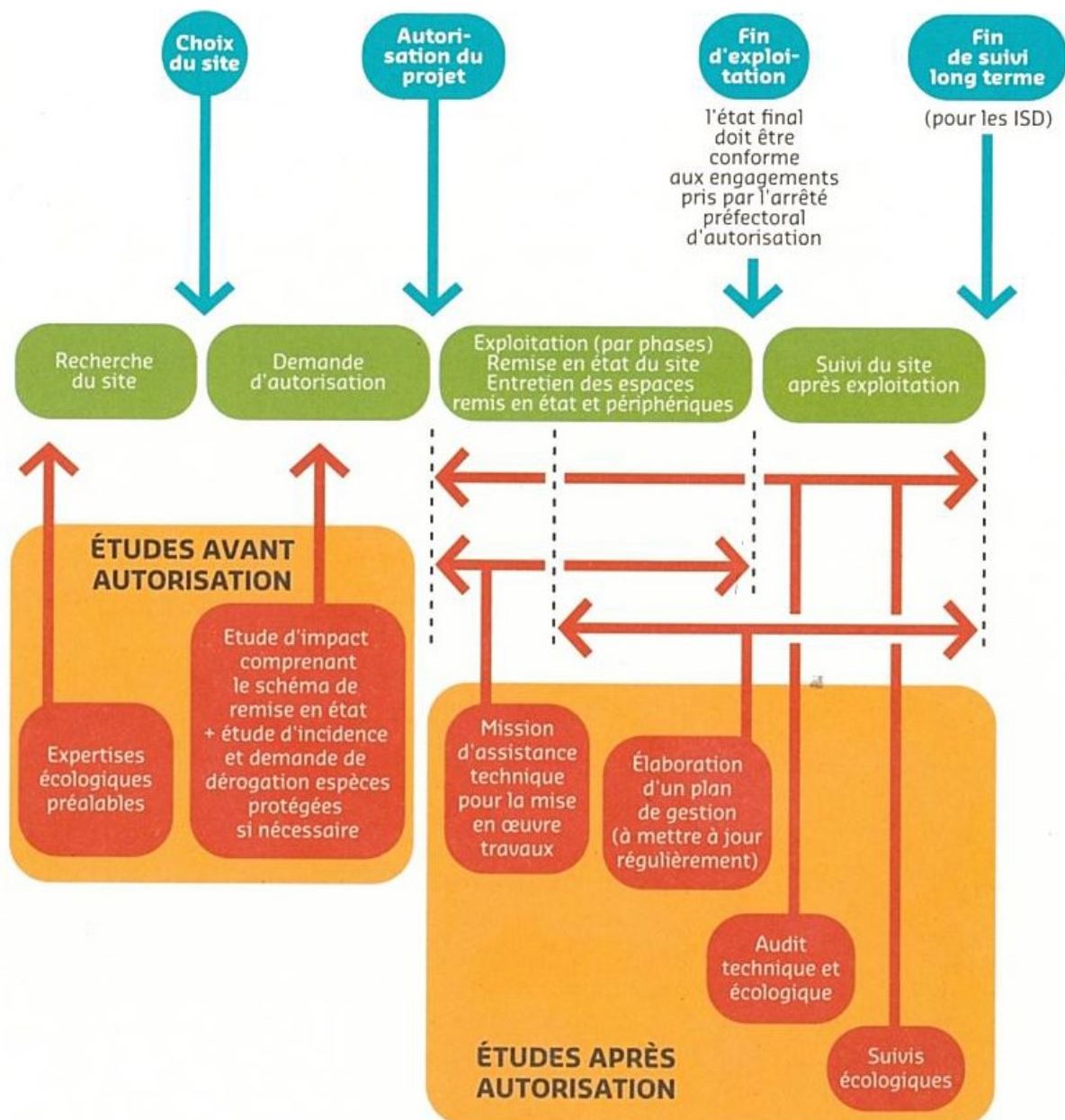


Figure 2.3 Synthèse des études susceptibles d'être entreprises dans le cadre d'un projet de création d'ISD (tiré de : Écosphère et Hydrosphère, 2008, p. 24)

2.3.1 Les études avant autorisation

Des études, dites préliminaires, sont réalisées en amont de la phase d'exploitation du site, lorsqu'une ISD n'est encore qu'à l'état de projet. Elles permettent de faire ressortir tous les scénarios possibles (concernant le choix de la localisation du site, sa superficie, le type de déchets qu'il accueillera, les types de valorisation qu'il pourra effectuer, etc.), de les analyser et d'écartier les plus dommageables à l'environnement. Ces études constituent une étape essentielle permettant au futur exploitant

d'anticiper les contraintes réglementaires et environnementales applicables à son installation. Le travail de prospection doit être réalisé par un écologue qualifié, qui sera alors en mesure de réaliser une première phase de recherche bibliographique, de visite ou d'inventaire des sites, ainsi que de prises de contacts avec les éventuelles parties prenantes au projet (associations, services de l'état, etc.). Ces études préliminaires sont inscrites au droit européen (*Directive Européenne n°97-11 du 3 mars 1997*) et transposées au droit français par les *décrets n°2000-258 du 20 mars 2000* et *2003-767 du 1 août 2003*.

Une fois le site d'exploitation choisi, plusieurs études (résultant pour la plupart d'exigences légales) doivent être mises en place. La première d'entre elle est l'étude d'impact. Cette étude nécessite la réalisation d'inventaires écologiques permettant de constituer un diagnostic initial du site et de déterminer les enjeux écologiques pouvant y être rattachés. Une fois cette étape réalisée, une liste exhaustive de l'ensemble des impacts environnementaux que l'activité de traitement des déchets peut avoir sur le milieu environnant est constituée. La finalité d'une telle démarche est alors de proposer une solution quant à la présence des impacts mis en évidence en appliquant la démarche ERC (éviter, réduire, compenser). Les trois concepts doivent être considérés dans l'ordre. Ainsi, lorsqu'un impact est identifié, la première solution est de tenter de l'éviter en supprimant la nuisance (exemple : modifier le tracé d'une route pour éviter un habitat abritant une espèce à statut). Si, après justification concrète, l'évitement semble impossible à appliquer dans des conditions économiques raisonnables, il est nécessaire de réduire le risque en proposant des mesures de réduction (réalisation des travaux en dehors des périodes d'activité des espèces fauniques, création d'abris fauniques, etc.). Enfin, lorsqu'il a été prouvé qu'aucune mesure d'évitement ou de réduction n'est possible, l'installation doit mettre en place des mesures de compensation pour tenter de contrebalancer les impacts générés et parvenir à retrouver un certain équilibre entre la perte de milieux naturels et/ou d'espèces induite par l'exploitation et les gains recréés en compensation (création de zones humides, conservation de milieux boisés, etc.).

Selon le *décret n°77-1133 du 21 septembre 1977*, modifié par le *décret 2000-258 du 20 mars 2000*, chaque étude d'impact doit également présenter un schéma de remise en état écologique. Ce document doit permettre de retrouver, après la phase d'exploitation, un site dans un état écologique satisfaisant et doit comporter des composantes obligatoires, tels que l'évaluation des coûts de remise en état ou la description biologique de la nature des sols et de la végétation après réaménagement.

Une évaluation des incidences au titre de Natura 2000 doit également être réalisée. En effet, la présence de sites intégrés au réseau européen Natura 2000 à proximité de l'ISD nécessite une étude approfondie permettant de déterminer si les futures activités de l'ISD peuvent représenter une menace pour les espèces et les habitats ayant motivé la désignation de la zone adjacente classée. Si ce risque est avéré, le projet de création d'ISD ne pourra aboutir qu'en suivant un régime dérogatoire s'il est

avéré que l'installation relève d'une question d'intérêt public majeur. Ce processus est néanmoins extrêmement lourd car dépendant des compétences de la Commission européenne et reste, de ce fait, très rarement engagé (cela devient en effet plus coûteux, en termes de ressources et de temps, que d'abandonner le projet et de changer de site). Le document d'évaluation des incidences au titre de Natura 2000 peut constituer un document autonome ou être rattaché à l'étude d'impact.

Une deuxième évaluation d'incidence doit également être réalisée pour tout projet susceptible de porter atteinte à un milieu aquatique (rejets, modification du réseau hydraulique, etc.) ou à une zone humide (par destruction ou modification). Cette dernière doit alors répondre aux exigences de la *Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau*, ainsi que de la *Loi n°2006-1772 sur l'eau et les milieux aquatiques* du 30 décembre 2006 et de l'*article L. 211-1 du Code de l'environnement*. Les études doivent porter sur « l'état du milieu aquatique et de ses berges, sur ses caractéristiques hydrauliques, physico-chimiques, hydrobiologiques et piscicoles » (Écosphère et Hydrosphère, 2008). Encore une fois, le dossier d'évaluation d'incidence peut constituer un document autonome ou être directement intégré à l'étude d'impact.

Enfin, au titre de l'*article L.411-2 du Code de l'environnement*, est autorisée :

« La délivrance de dérogation (...), à condition qu'il n'existe pas d'autre solution satisfaisante et que la dérogation ne nuise pas au maintien, dans un état de conservation favorable, des populations des espèces concernées dans leur aire de répartition naturelle » (Code de l'environnement, 2010)

Le dossier de demande doit être déposé en trois exemplaires auprès de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) (ou les entités équivalentes selon les régions). Une fois l'expertise écologique menée, la DREAL transfère le dossier au MEDDE qui émet son avis et décide de la saisie du Conseil National de Protection de la Nature (CNPN) pour une analyse approfondie de la demande. Cette entité retourne alors, au titre de l'*article R.411-6 du Code de l'environnement* et par l'intermédiaire du MEDDE, un avis favorable ou non au préfet qui décide à son tour de l'autorisation ou du refus de la dérogation. (DREAL Lorraine, 2012)

2.3.3 Les études après autorisation

Plusieurs démarches sont envisageables durant la phase d'exploitation et de post-exploitation d'une ISD. Ces mesures ne constituent pas des obligations légales, sauf dans le cas où elles représenteraient une exigence mentionnée au sein de l'arrêté préfectoral d'autorisation. Il est possible de les regrouper en cinq grandes catégories :

- L'élaboration de plans de gestion (pour les sites visés par des mesures compensatoires et ceux destinés à un futur réaménagement écologique, ou pour les espaces végétalisés ou naturels bénéficiant de mesures de gestion écologique) ;
- Les missions d'assistance technique par un écologue, pour les remises en état de sites ou de réaménagements écologiques ;
- La réalisation d'audits techniques et écologiques, lorsqu'un problème d'ordre écologique est constaté suite à l'exploitation du site (rejets, développement d'espèces invasives, etc.) ;
- La mise en place de suivis écologiques et de bilans techniques afin de suivre les actions entreprises, de vérifier leur efficacité et de préconiser des mesures correctrices le cas échéant ;
- La réalisation d'expertises lichéniques visant à évaluer la qualité de l'air environnant. (Écosphère et Hydrosphère, 2008)

3 LES ENJEUX DE PRÉSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ AU SEIN D'ISD

Avant de réfléchir aux modalités de mise en œuvre de mesures de restauration écologique, il est, dans un premier temps, nécessaire de s'interroger sur les menaces concrètes que peuvent représenter les installations industrielles pour la biodiversité. Ce chapitre va donc permettre de mieux comprendre les enjeux et l'importance de la préservation d'un tel capital naturel.

3.1 Impacts négatifs des ISD sur la biodiversité

Outre les impacts négatifs qu'une ISD peut potentiellement engendrer sur des aspects de sécurité et de santé publique (qui, même s'ils ne seront pas considérés dans cette analyse, constituent un enjeu primordial), de telles installations industrielles représentent une source importante de nuisances envers la biodiversité locale, voire régionale. Certaines de ces nuisances peuvent être indirectes, comme c'est le cas, par exemple, pour le phénomène de bioaccumulation engendré par l'ingestion de ressources alimentaires contaminées. D'autres, à l'inverse, peuvent affecter directement les espèces fauniques et floristiques présentes sur le site ou dans son environnement immédiat.

3.1.1 Impacts sur la qualité de l'air

Même si les impacts négatifs qu'une ISD peut avoir sur la qualité de l'air ne paraissent pas évidents car plutôt diffus, plusieurs risques demeurent associés à ce type d'activité. En effet, des rejets directs peuvent survenir lors des phases d'exploitation du site. Des particules, poussières ou autres matières en suspension sont dégagées lors des périodes de travaux, mais aussi lors des phases de stockage, au cours desquelles des déchets peuvent se désagréger et disséminer certains fragments dans l'air. Un deuxième aspect à souligner, car tout aussi important, est l'ensemble des rejets gazeux qu'une telle activité peut générer dans l'atmosphère. En effet, le nombre important de véhicules et de machinerie lourde circulant quotidiennement sur le site représente une source non négligeable d'émission de gaz à effet de serre (GES) et de particules fines.

De plus, une particularité des ISD est qu'elles produisent quotidiennement une quantité importante de biogaz (méthane et dioxyde de carbone) résultant de la fermentation anaérobie des déchets organiques. D'autres éléments traces, dont le sulfure d'hydrogène, peuvent être nocifs lorsque inhalés à forte dose sur une courte période (lors d'une fuite de canalisation, par exemple). (Véolia, 2015) D'autre part, si une majorité de ces émanations peut être empêchée par la construction de réacteurs biogaz (qui permettent de valoriser la méthanogénèse par une transformation des gaz en énergie réutilisable), une partie finit toujours par être émise dans l'atmosphère. Lorsqu'aucun réacteur n'existe ou que ce dernier est temporairement hors-service, des torchères permettent de brûler le méthane excédentaire. Après combustion, le GES résultant prend alors la forme de dioxyde de carbone (qui représente néanmoins un potentiel de réchauffement global 28 fois moins important que celui de son prédécesseur) (Dessus et Laponche, 2014).

Si la contribution à l'augmentation de l'effet de serre représente un impact diffus et indirect, elle constitue néanmoins, à plus ou moins long terme et cumulée à toutes les autres émissions d'origine industrielle, un facteur important d'érosion de la biodiversité.

3.1.2 Impacts sur la qualité des sols

L'impact le plus important qu'une ISD puisse engendrer sur les sols est caractérisé par une modification de la morphologie et de la topographie du site exploité. En effet, les travaux d'excavation, dans un premier temps, puis d'exploitation (création de dômes), dans un second temps, affectent de façon directe et irréversible le profil des sols. De plus, à une échelle plus fine, la structure des sols ainsi que leurs capacités d'infiltration seront aussi radicalement modifiées. Des risques de contamination du milieu par les déchets et leurs résidus liquides peuvent également être présents. Dans un cas comme dans l'autre, la biodiversité est alors impactée à différentes échelles. De par la perte d'habitats et/ou la contamination du milieu, de nombreux micro-organismes, insectes ou espèces fouisseuses sont directement atteints. Comme ces derniers constituent l'un des premiers échelons de la chaîne alimentaire, leur disparition entraîne alors une diminution de la disponibilité de nourriture pour plusieurs autres espèces prédatrices, ainsi qu'un risque de bioaccumulation tout au long de la chaîne alimentaire. Le phénomène de compaction induit par la circulation des engins de chantier et le poids des dômes de déchets ou des merlons provoque également une perte de structure interne du sol. En plus de réduire la disponibilité de microcavités pour le développement des animaux fouisseurs, cette dégradation du sol ralentit grandement la croissance des végétaux (D'Auteuil, 2014), tout en favorisant les espèces pionnières et rudérales, supportant les sols remaniés, tassés, au détriment des espèces initialement présentes.

3.1.3 Impacts sur la qualité de l'eau

Pour les mêmes raisons qu'exposées dans la sous-section précédente, les travaux d'aménagement ou de réaménagement d'ISD peuvent entraîner une modification profonde du réseau hydrographique en déviant la trajectoire de certains cours d'eau, voire en supprimant leurs lits. Les espèces aquatiques sont donc directement affectées par ces modifications qui induisent souvent une perte d'habitat ou, a minima, de fonctionnalité des habitats aquatiques (cours d'eau isolés et déconnectés du réseau hydrographique, débits réduits, etc.).

L'impact le plus significatif reste néanmoins le risque de contamination des eaux superficielles et souterraines. En effet, comme précisé au chapitre 1, la percolation de l'eau le long de la colonne de déchets entraîne, au sein d'une alvéole de stockage, la production de résidus liquides (lixiviats) chargés en matières polluantes minérales et organiques. Ces derniers, s'ils ne sont pas récoltés, stockés puis traités correctement, peuvent représenter un risque de contamination des eaux souterraines et superficielles et menacer directement les espèces évoluant dans ce type de milieux.

Enfin, du fait d'une artificialisation importante des terres exploitées par les ISD, l'imperméabilité des sols est considérablement augmentée. Le phénomène de ruissellement est alors accru, de même que les risques d'érosion des sols ou de lessivage de particules polluantes vers le milieu aquatique.

3.1.4 Impacts sur la végétation

L'activité d'une ISD peut engendrer plusieurs nuisances pour toutes sortes d'espèces végétales. Le facteur le plus important reste évidemment la destruction directe d'habitats ou d'espèces ordinaires voire remarquables. La surface d'exploitation d'une ISD est, en effet, assez importante (de 20 à 100 hectares en moyenne) et peut, malgré la rigueur des études d'impact, constituer une éventuelle menace pour les espèces végétales présentes sur le site. De plus, même si une ISD est amenée à être réaménagée à la fin de sa période d'exploitation, l'apparition d'espèces invasives, par un phénomène de rudéralisation des ensembles végétaux lors de la recolonisation du site, n'est pas à négliger.

3.1.5 Impacts sur la faune

Comme pour les espèces végétales, la faune peut être directement affectée par la perte d'habitats provoquée par la construction d'une ISD (que ces derniers soient utilisés comme lieux de vie, zone de reproduction ou zone de prospection alimentaire), mais également par le dérangement occasionné par l'activité humaine quotidienne. Le type d'habitats représentant souvent le plus d'enjeux écologiques demeure les zones à caractère humide (mares, fossés, bassins, etc.), car elles abritent souvent une faune particulièrement riche et protégée (amphibiens, odonates, etc.).

Des débris d'emballages plastiques, de papiers ou de cartons peuvent également être transportés par le vent ou par certaines espèces d'oiseaux. Ces derniers finissent alors par représenter des risques d'étouffement (par ingestion ou inhalation) auprès de la faune locale. Certains macro-déchets (bâches plastiques, sacs d'emballage, etc.) peuvent également avoir un impact direct sur les organismes végétaux, notamment en leur supprimant l'accès à la lumière et à l'oxygène.

Enfin, de nombreuses espèces opportunistes fréquentent les ISD, qui représentent pour elles une source de nourriture importante. En effet, les laridés, les corvidés, certains rapaces détritvovores, ainsi que les rongeurs et les insectes, peuvent tirer parti de la matière organique présente dans les déchets. Si certaines de ces espèces sont protégées, voire représentent de réels enjeux de conservation (cigogne blanche, milan royal, etc.), la multiplication de leurs effectifs peut avoir des conséquences néfastes sur les écosystèmes voisins. Par exemple, les sols des reposoirs de laridés présents par centaines, voire milliers d'individus, peuvent être largement modifiés par l'apport massif de déjections, source d'eutrophisation. Ces espèces opportunistes peuvent également représenter une menace pour la faune locale avec laquelle ils peuvent entrer en compétition directe.

3.1.6 Impacts sur la biodiversité à une échelle plus large

La création d'une ISD peut, en plus d'engendrer des bouleversements écologiques sur la surface concernée par l'exploitation, être la source de nuisances directes ou indirectes sur les zones naturelles environnantes. Le premier facteur important est le phénomène de fragmentation du territoire qu'un projet industriel peut représenter sur une telle superficie. Souvent implantées dans des zones peu anthropisées et adjacentes à des massifs boisés afin de limiter l'impact visuel et les conflits de voisinage qu'elles peuvent induire, les ISD (si elles ne suppriment pas de façon directe certains corridors écologiques) peuvent, *a minima*, constituer une « barrière » pour la faune sauvage qui, lorsqu'elle n'est pas arrêtée par l'enceinte grillagée du site, ne prendra que très rarement le risque de traverser cette vaste étendue de milieux ouverts. À cela s'ajoute le dérangement induit par la circulation des poids lourds ainsi que par les nuisances sonores et lumineuses imputables à l'activité quotidienne de l'installation. La faune environnante peut alors fuir les habitats proches du site dans un rayon plus ou moins large. Si l'ISD se trouve à proximité d'une zone naturelle remarquable (zone Natura 2000, réserve naturelle, parc naturel, arrêté de protection de biotope, etc.), le risque que des espèces d'intérêt soient affectées par son activité devient d'autant plus grand.

3.2 Un vecteur de communication efficace : le concept de « biens et services écosystémiques »

La notion de biens et services écosystémiques (BSE) a commencé à prendre de l'importance lors de la publication, en 2005, du rapport sur l'évaluation des écosystèmes pour le millénaire, également nommé *Millenium Ecosystem Assessment* (MEA). Ce concept y est défini comme étant l'ensemble des « biens et services que les hommes peuvent tirer des écosystèmes, directement ou indirectement, pour assurer leur bien-être » (MEA, 2005).

La notion de BSE, bien que parfois difficile à évaluer, constitue un vecteur de communication et de sensibilisation efficace. En effet, le fait de changer d'angle de vision, en ne présentant plus les impacts que les sociétés humaines peuvent engendrer sur le milieu naturel (voir section précédente) mais, au contraire, les bénéfices que l'Homme peut tirer de ces derniers, a représenté un véritable bouleversement dans la perception des relations Homme/Nature. En changeant ainsi de vecteur de communication et en passant de « la technique du bâton à celle de la carotte », l'introduction de ce concept semble avoir permis de viser un plus large public, en insérant plus efficacement la notion d'écosystèmes au sein des perceptions socio-économiques contemporaines. Une analyse des liens entre biodiversité, production de BSE, et BSE utiles à l'Homme est dorénavant possible (figure 3.1 ci-après). Elle permet de mieux faire valoir le rôle et l'importance que présentent les écosystèmes pour nos sociétés actuelles et donc l'enjeu de sauvegarde réel qui peut leur être rattaché. Le MEA a également proposé, en 2005, une classification des différents BSE rendus à l'Homme. Quatre grands groupes distincts ont été créés : les services de soutien (ou support), d'approvisionnement, de régulation (ou prélèvement) et les services culturels (figure 3.2 ci-après).

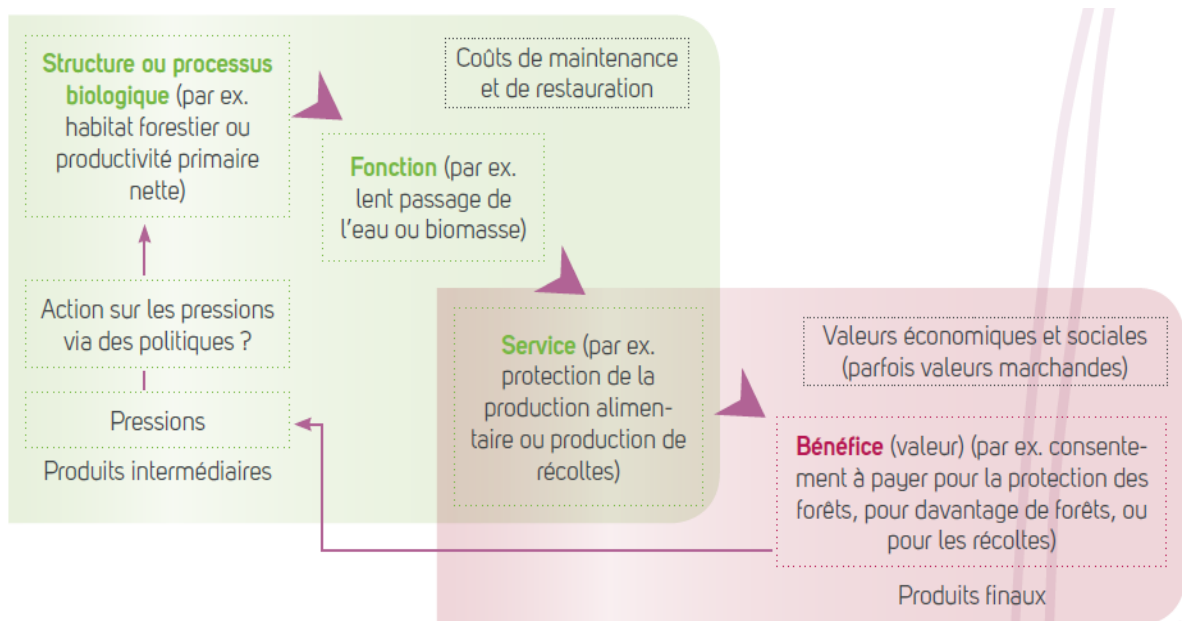


Figure 3.1 Liens entre la biodiversité, la production de BSE et les bénéfices retirés par l'Homme (tiré de : UICN France, 2012, p. 8)

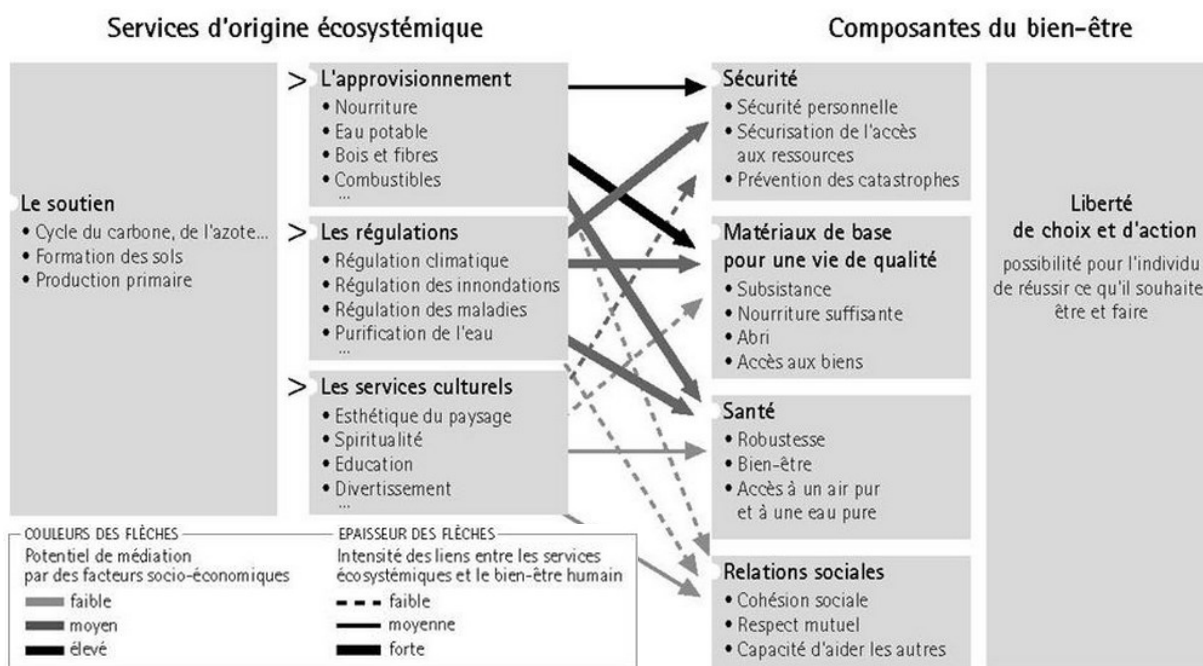


Figure 3.2 Classification fonctionnelle des services écologiques (traduction libre de : MEA, 2005, p. 50)

Le message transmis par le MEA se résume dans le fait que « où que nous vivions, nous dépendons tous de la nature et des services fournis par les écosystèmes pour accéder à une vie décente, sûre et en bonne santé » (MEA, 2005).

3.3 Valorisation et enjeux de préservation de la biodiversité au sein d'une ISD

Cette section permet d'identifier les pistes possibles pouvant justifier la mise en œuvre de mesures de préservation de la biodiversité au sein d'ISD. Elle liste les risques les plus importants induits par la non considération de ce capital naturel, ainsi que les bénéfices qui peuvent, *a contrario*, en résulter lorsque ce dernier est intégré aux processus décisionnels.

3.3.1 La biodiversité, capital naturel de l'entreprise

Comme développé dans la section précédente, depuis quelques décennies, la considération de la biodiversité tend à s'accompagner d'un changement singulier de point de vue. Du statut de cible ou de contrainte technique, elle passe peu à peu à celui de source de profits et de bénéfices. Ce concept commence à prendre de l'ampleur, jusqu'à placer le capital naturel de certaines entreprises au même rang que celui des capitaux financier, matériel et humain. Mais le pas à franchir est encore immense car ce type d'entreprises reste rare et peu de responsables considèrent, encore aujourd'hui, que la biodiversité peut devenir un véritable investissement stratégique à long terme. Si le domaine des capitaux indirects (dits « immatériels ») est de plus en plus exploré et inscrit au sein des stratégies entrepreneuriales, le capital naturel reste toujours en marge des considérations. Et pourtant, ce dernier constitue la base essentielle de toute activité industrielle ou économique (figure 3.3).

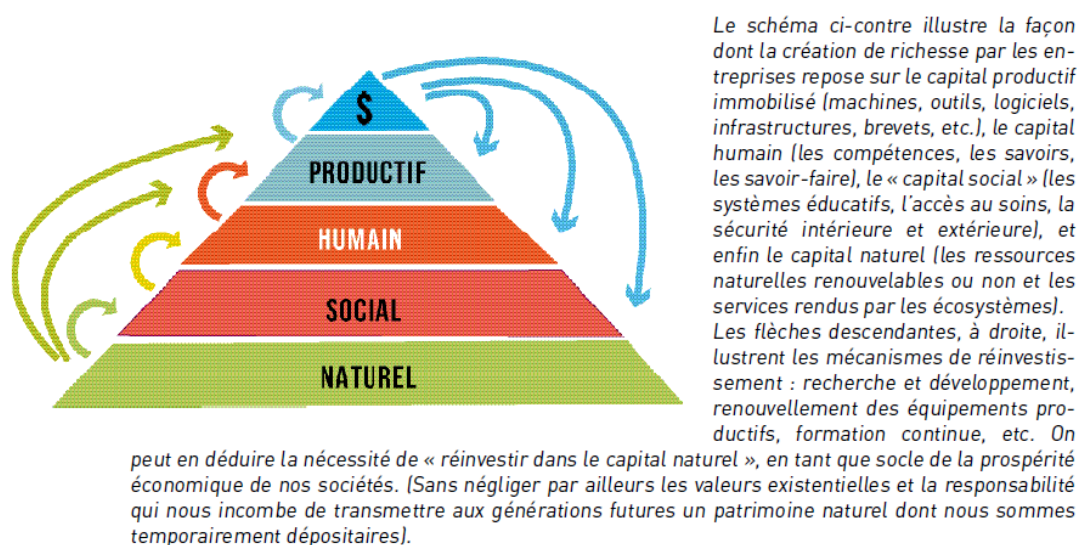


Figure 3.3 Ensemble des capitaux permettant la création de richesses au sein d'une entreprise (tiré de : Mouvement des entreprises de France (MEDEF), 2013, p. 19)

Il est donc possible de noter qu'un certain retard demeure dans la compréhension de ces principes et de l'importance du rôle tenu par les milieux naturels au sein de nos sociétés. Comment alors démystifier le terme de biodiversité, et par quels moyens faire apparaître les bénéfices directs et indirects que l'Homme peut en soutirer ?

3.3.2 Identification des risques et enjeux liés à l'érosion de la biodiversité : le cas des ISD

Comme abordé au cours de la sous-section précédente, la biodiversité constitue le capital naturel d'une entreprise, ainsi que le « socle de la prospérité économique de nos sociétés » (MEDEF, 2013). Contribuer à sa dégradation revient donc à diminuer ce capital et à entraver la pérennité de l'entreprise à long terme. La mise en évidence des risques associés à ce phénomène d'érosion pourrait ainsi constituer un premier axe à envisager afin de sensibiliser, voire éduquer, les exploitants industriels à la préservation de la biodiversité.

Le premier risque pouvant être avancé relève des contraintes juridiques. En effet, comme elle représente une notion encore jeune en droit national et international, la préservation de la biodiversité est associée à une réglementation en constante mutation. Il est donc primordial, pour une entreprise, d'exercer une véritable veille réglementaire environnementale, sous peine d'obligations de mises en conformité souvent coûteuses en temps et en ressources financières. À l'inverse, anticiper les risques empêche des dépenses inutiles de réparation d'éventuels dommages environnementaux et contribue ainsi à la préservation de l'image de marque de l'entreprise. Comme abordé au chapitre 2, la réglementation actuelle est assez stricte à propos de l'environnement. La plupart des entreprises de grande taille en effectue aujourd'hui le constat et s'efforce de considérer toutes les conséquences qui peuvent en découler. En effet, à l'heure actuelle, le respect des exigences réglementaires, même s'il ne représente pas l'option la plus acceptable d'un point de vue éthique, constitue toujours le moyen le plus efficace pour stimuler la mise en place de mesures écologiques.

Le deuxième risque identifiable relèverait des enjeux liés à l'exploitation du site : ruptures d'approvisionnement, interruption d'exploitation, dégradation des conditions opérationnelles de l'entreprise, etc. (MEDEF, 2013). Dans le cas d'une ISD, l'artificialisation et l'imperméabilisation des sites peuvent, par exemple, entraîner des risques importants d'érosion, de débordements des cours d'eau et de lessivage des particules polluantes vers le milieu aquatique. Autant de préjudices environnementaux qui, lorsqu'ils demandent à être réparés, constituent une véritable perte financière pour l'exploitant. Anticiper ces aléas, en s'assurant du maintien des services écosystémiques associés, peut donc permettre à une ISD d'améliorer sa prévention des risques d'exploitation et d'augmenter sa performance et son efficacité opérationnelle.

Enfin, le troisième risque relève des pertes de marchés induites par des attentes sociétales de plus en plus fortes au regard de l'environnement. L'explosion de l'acquisition d'écolabels ou autres normes environnementales par les entreprises au cours des dernières années montre bien que l'écologie et la préservation de l'environnement constituent des critères de qualité et de fiabilité de plus en plus appréciés. Manquer d'initiative en ce sens peut donc parfois empêcher l'acquisition de nouveaux marchés, voire entraîner la perte d'une clientèle toujours plus exigeante.

3.3.3 Mise en évidence de la valeur ajoutée de la biodiversité pour les ISD

Une fois les risques liés à la dégradation de la biodiversité identifiés, il semble tout aussi pertinent de se pencher sur la question inverse : pourquoi, et en quoi, la prise en compte de la biodiversité peut-elle être bénéfique pour une ISD ? Et à cette question, les réponses sont nombreuses.

Tout d'abord, la prise en compte de la biodiversité permet, en interne, de mobiliser les collaborateurs et le personnel de l'exploitation. En effet, travailler pour ou au sein d'une installation s'investissant dans la mise en place de mesures écologiques et durables peut constituer un véritable facteur de motivation. Ce type d'actions démontre en effet que l'entreprise est responsable et consciente de l'impact qu'elle peut générer sur le milieu naturel. De telles considérations montrent, en général, une réelle ouverture d'esprit du responsable du site et permet d'instaurer un certain climat de confiance au sein de l'environnement de travail. De plus, le lien entre conscience écologique et conscience sociétale est souvent étroit. Les salariés peuvent donc supposer qu'un responsable soucieux de la biodiversité sera également plus attentif à leurs conditions de travail. Par ailleurs, un bénéfice encore plus direct peut se faire ressentir au niveau de l'amélioration du cadre de vie des travailleurs. De nombreuses études (De Vries et autres, 2003 ; Maas et autres, 2006 ; Hortwitz et autres, 2011) démontrent que la présence d'espaces verts, de milieux boisés ou de toute autre formation végétale naturelle, participe au maintien d'une bonne santé mentale. Une ISD mettant en place des mesures de gestion écologique représentera donc un lieu de vie plus agréable, tant pour le personnel que pour les visiteurs ou les parties prenantes extérieures au site. Enfin, de telles actions requièrent le développement de nouvelles connaissances, compétences et responsabilités auprès des salariés. Ils doivent, dès lors, adapter leurs modes opératoires en conséquence, ce qui ajoute encore à la valorisation et à la diversification de leur travail quotidien.

Si on considère maintenant la valeur ajoutée de la biodiversité d'un point de vue externe à l'exploitation, plusieurs autres bénéfices peuvent être mis en évidence. Tout d'abord, l'investissement dans la préservation de la biodiversité et le respect général de l'environnement peuvent, de nos jours, entraîner une valorisation croissante de l'image de marque d'une entreprise. S'engager sur cette voie peut donc permettre de maintenir ses parts de marché, mais également d'en acquérir de nouvelles, en étendant son champ d'action à un public beaucoup plus large.

Dans cette même idée, des exploitations industrielles telles que les ISD peuvent améliorer l'image que les riverains ou les clients possèdent d'elles, notamment en réalisant des mesures favorables à la biodiversité et en adaptant leurs actions pédagogiques et communicationnelles en conséquence. Créer des partenariats avec des associations naturalistes, mettre en place des journées portes ouvertes dédiées à la biodiversité (permettant d'assurer une certaine transparence de l'entreprise), ou entreprendre des mesures de gestion écologique visibles de tous, peut permettre d'instaurer un climat de confiance qui ne règne que très rarement aux débuts de l'exploitation d'une nouvelle ISD. Des

riverains réfractaires au maintien de l'exploitation (car sensibles à des notions de santé publique ou d'environnement) peuvent modifier leur perception de l'exploitation en découvrant que cette dernière possède, finalement, une certaine conscience environnementale et qu'elle s'emploie à diminuer au maximum les impacts négatifs qu'elle peut engendrer sur la biodiversité. La surveillance de l'évolution écologique de son site constitue donc un enjeu primordial en matière de réputation et de responsabilité d'une ISD. Elle permet d'instaurer une certaine confiance dans les relations auprès de la clientèle ou des riverains, tout en confortant la politique de responsabilité sociétale des entreprises (MEDEF, 2013). Cela est d'autant plus vrai que, si l'acquisition de la confiance des parties prenantes au projet est souvent longue et coûteuse, le moindre incident écologique peut, à l'inverse, dévaloriser une entreprise de façon considérable en très peu de temps.

D'autre part, la prise en compte de la biodiversité peut amener à stimuler les stratégies d'innovation développées au sein de l'ISD. Elle permet, entre autres, de faire appel à des mesures de génie écologique originales ou de s'inspirer de la nature pour développer de nouvelles solutions techniques innovantes et écoresponsables (science du biomimétisme). L'engagement et l'investissement dans la préservation de la biodiversité entraîne donc le besoin de développer de nouvelles compétences et de nouveaux modes de collaboration, tant à l'interne qu'à l'externe. Ces nouvelles compétences permettront alors d'ajouter une valeur à l'exploitation, en la rendant « plus agile, plus ouverte sur le monde, à l'écoute, mieux intégrée sur son territoire », ainsi que plus innovante et plus performante d'un point de vue de cohésion interne. (MEDEF, 2013)

Enfin, en s'éloignant un peu plus de l'approche très « entreprise centrée » qui vient d'être développée, il ne faut pas oublier, qu'en plus de tout cela, la prise en compte de la biodiversité peut permettre :

- D'améliorer la gestion des espaces, en diminuant parfois les coûts et en intégrant les services au fonctionnement du site. Cela peut par exemple être le cas lors du maintien des talus et de la lutte contre l'érosion par la mise en œuvre de techniques de végétalisation ou lors de l'utilisation des processus de phytoépuration des effluents au sein d'un site ;
- De contribuer à la préservation des espèces ordinaires voire ponctuellement, d'espèces rares ;
- De participer à la prise en compte de la nature ordinaire par le plus grand nombre (apprendre à appréhender le rapport à la nature comme une collaboration et pas toujours comme une confrontation).

4 MODALITÉS ET LIMITES DE LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE

Ce quatrième chapitre va permettre d'aborder, de façon plus précise, les éléments structurants d'une démarche de restauration écologique applicable à une ISD. Il est important de préciser que la liste proposée au sein de cet essai n'est pas exhaustive. Néanmoins, les étapes présentées ci-après sont les plus importantes à prendre en considération. Chacune d'entre elles est capitale et doit être analysée avec exactitude et le plus en amont possible de la démarche, car elles requièrent des ressources importantes en matière de temps, de financement et de moyens techniques et humains. N'importe quelle phase de travail peut donc, si elle est mal évaluée, constituer une importante perte brute auprès de l'exploitant.

4.1 Généralités

Tel qu'abordé précédemment, la restauration écologique tend à ramener un écosystème vers sa trajectoire historique. Il est donc primordial, avant d'entamer une telle démarche, de s'assurer de connaître le contexte et l'évolution historique du site étudié.

Cependant, l'atteinte de cet objectif n'est pas toujours possible. En effet, les successions de dégradations et de modifications (tant superficielles que profondes) survenant sur un site perturbé peuvent empêcher la détermination précise de la trajectoire que ce dernier aurait pu adopter. Il est, dans ce cas, nécessaire de recourir à des études approfondies sur, par exemple, l'organisation du ou des écosystèmes présents sur certaines parties du site, leur fonctionnement écologique, les interactions qu'ils peuvent avoir avec les autres écosystèmes et les paysages alentours, etc. Il est également primordial de posséder une base de comparaison avec d'autres sites, au fonctionnement ou à la structure similaire, afin de mieux appréhender les différents scénarios d'évolution possibles. Toutes ces données écologiques vont ainsi conduire à la création de modèles permettant de prédire les éventuelles trajectoires d'évolution du site et donc d'amorcer une démarche de restauration écologique adaptée aux différentes situations. (*Society for Ecological Restoration* (SER), 2004)

Chaque site diffère de par son histoire, les différentes modifications écologiques et culturelles auxquelles il a pu être confronté, ainsi que la gravité et la durée des perturbations dont il a pu faire l'objet. Dans les contextes les plus simples, il suffit parfois de supprimer la source de perturbation pour que la restauration puisse se faire de façon autonome et naturelle. Mais dans le cas d'une ISD, les modifications de l'écosystème (de la flore et la faune y évoluant, jusqu'à son substrat) sont tellement importantes qu'il semble impossible qu'un tel site puisse retrouver sa trajectoire historique de façon autonome. Une démarche de restauration écologique constitue alors la seule option permettant d'assister ce type de milieu à retrouver sa trajectoire attendue.

La figure 4.1 expose les différents stades d'évolution possibles d'un écosystème subissant une dégradation continue dans le temps. En fonction de la durée et de l'intensité des perturbations, certains seuils, une fois franchis, nécessitent une adaptation des méthodes de génie écologique afin de permettre le rétablissement complet d'un site.

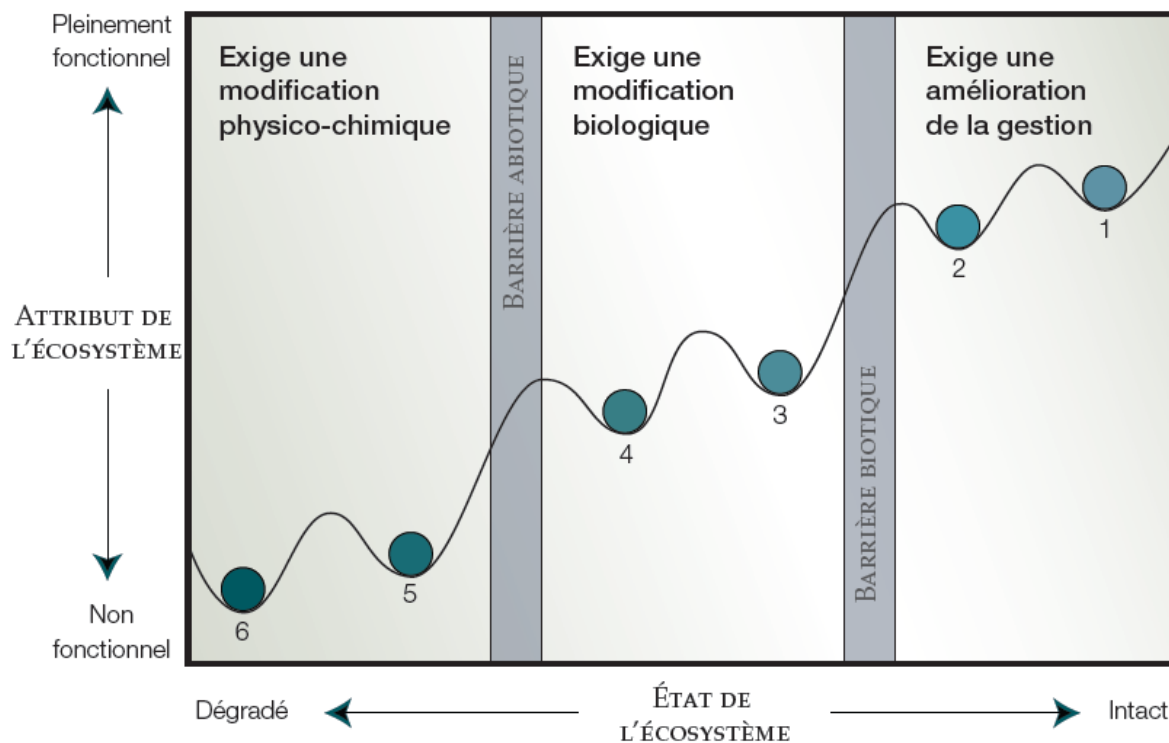


Figure 4.1 Modèle conceptuel de la dégradation et de la restauration d'un écosystème (inspiré de : Whisenant, 1999, p. 4 et de Hobbs et Harris, 2001, p. 243)

Sur cette figure, la profondeur de chaque creux correspond au degré de perturbation auquel le site a été sujet. L'inclinaison et la longueur des courbes reliant l'un de ces creux à un sommet (seuil de basculement) symbolise la difficulté qu'il y aura à faire revenir un site d'un état dégradé à un état moins dégradé. Les barrières abiotique et biotique matérialisent les « fractures » naturelles qui rendront encore plus difficile cette résilience et imposeront le besoin de fournir un important effort de restauration écologique.

Considérons, par exemple, un écosystème se trouvant au point numéro 2. On constate que ce dernier a subi une dégradation qui l'a fait basculer de l'état quasi intact et pleinement fonctionnel (numéro 1), à un état de qualité inférieure et moins fonctionnel. Alors :

- La pente de la courbe séparant le point 2 du point 1 indique qu'il faudra une amélioration assez importante des modalités de gestion écologique pour rendre sa fonctionnalité et son état d'origine à cet écosystème.

- La première pente positive située à sa gauche symbolise la résistance de l'écosystème. Elle montre qu'il faudra encore exercer une certaine pression néfaste sur ce dernier avant qu'il ne bascule vers l'état encore plus dégradé (numéro 3).
- À l'inverse, la pente beaucoup plus abrupte séparant le point numéro 2 du point numéro 3 symbolise le retour très difficile de l'écosystème à sa position initiale. Cette pente est beaucoup plus abrupte car la barrière biotique a été franchie, c'est-à-dire que certaines espèces animales et végétales ont disparu. Il sera donc très difficile de recréer des conditions favorables à un retour au point numéro 2, à moins d'une modification biologique comme, par exemple, la réintroduction d'espèces indigènes au sein de l'écosystème.

L'enfouissement des déchets réalisé au sein des ISD entraîne, par exemple, des modifications topographiques du site et donc une modification, voire une altération ou un remplacement du substrat. De telles exploitations seraient donc symbolisées par les points n° 5 ou 6 concernant la zone d'exploitation et les sphères 4 à 1 pour les zones annexes, parfois laissées en libre évolution.

Compte tenu de l'ensemble de ces facteurs, une démarche de restauration écologique doit donc être entreprise de façon prudente, logique et réfléchie. Il est nécessaire d'établir à l'avance et de suivre un cadre directeur ou « plan de restauration » fondé sur un diagnostic précis (identification des communautés végétales et animales, de la nature des substrats, de la topographie, etc.) de l'état initial du site avant les travaux de restauration. Le diagnostic aura d'autant plus d'intérêt s'il repose sur une méthodologie standardisée et donc reproductible (voir sous-section 4.3.2) permettant de comparer les situations antérieures et postérieures à la démarche de restauration.

Dans le cas d'une ISD, les étapes décrites au sein des sections suivantes peuvent constituer une base pour la réalisation d'une opération de restauration pendant ou après exploitation d'un terrain. Les paramètres étant extrêmement variables selon les sites, il demeure cependant important que cette trame commune ne constitue pas une restriction quant à la prise en compte de toutes les composantes du projet. Elle doit rester générale et modulable afin de convenir à chaque situation.

L'ensemble des étapes proposées dans la section suivante est présenté à la figure 4.2 ci-après.

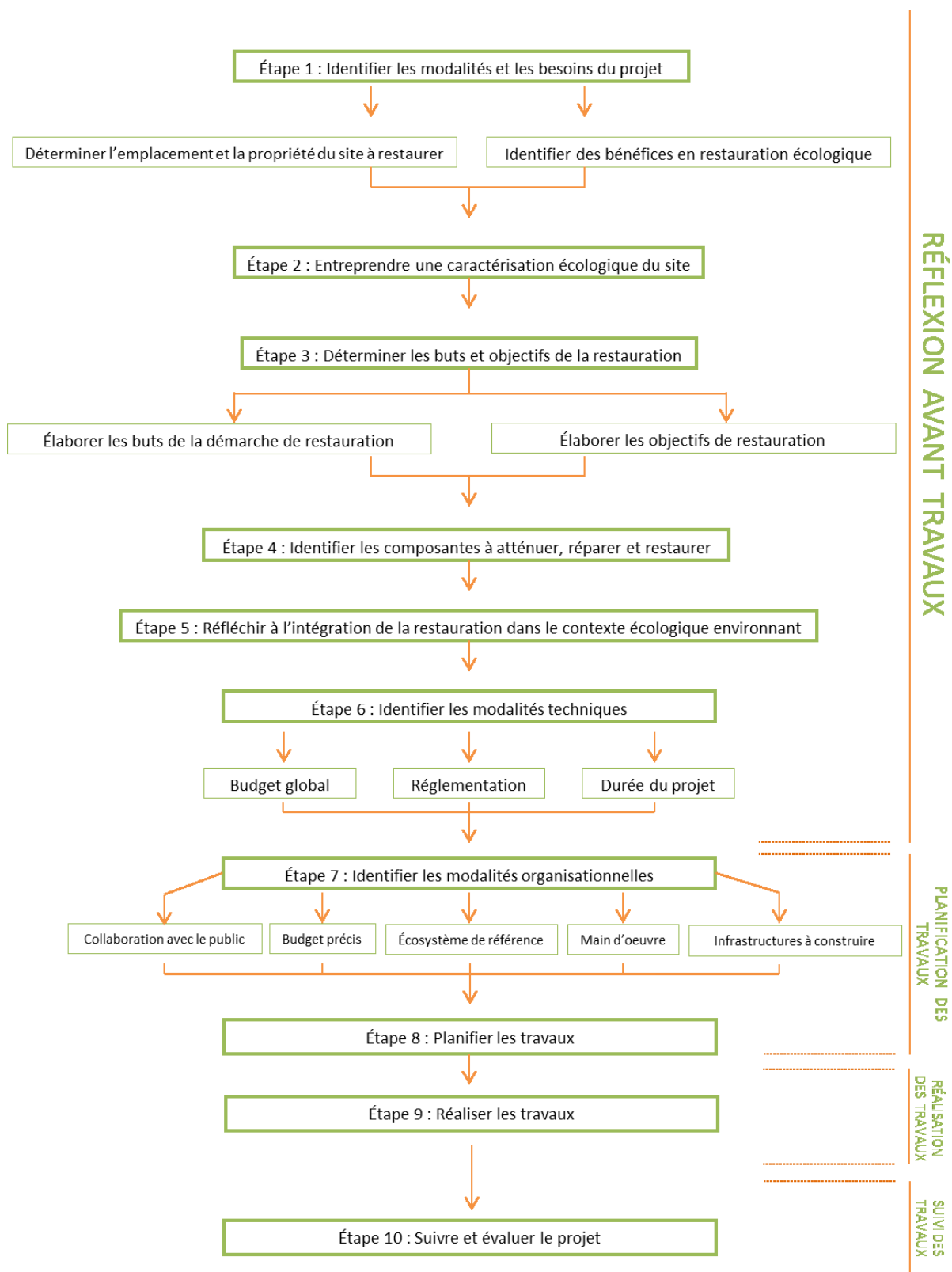


Figure 4.2 Trame proposée pour la réalisation d'une démarche de restauration écologique
(inspiré de : Clewell et autres, 2010, p. 267-292)

4.2 Étape 1 : Identification des modalités et des besoins du projet

Avant d'entamer la démarche de restauration en tant que telle, une période de réflexion est nécessaire pour dégager les principales modalités de la démarche et apporter un éclaircissement quant aux futures actions à entreprendre.

4.2.1 Détermination de l'emplacement et de la propriété du site à restaurer

La toute première sous-étape consiste en la délimitation précise du périmètre visé pour la réalisation de la démarche de restauration. Il est important de cartographier ces limites à partir de photographies aériennes à haute résolution, voire, de préférence, par l'intégration des données pertinentes en format numérique à un logiciel de type « système d'information géographique » (SIG). La topographie des lieux, ainsi que leur intégration dans le bassin versant et au sein des paysages alentours, sont également à prendre en compte. Il est préférable d'utiliser des outils de géomètre, des appareils de type *Global Positionning System* (GPS) ou tout autre outil de mesure pertinent afin de gagner en précision dans les relevés de terrain.

Il est ensuite important d'identifier précisément la propriété des terres visées pour la restauration. Dans le cadre des ISD, les sites sont parfois exploités depuis près de cinquante ans. Il peut donc être difficile de retracer les limites réelles des terres lorsque ces dernières se trouvent hors du périmètre ICPE. Dans le cas où ces dernières apparaissent comme ne faisant pas partie intégrante de l'acquisition foncière de l'ISD, il est important de s'entendre de façon formelle avec le propriétaire en question. Plusieurs scénarios sont alors possibles : restauration chez le propriétaire, ajustement des limites des lots, achat de la propriété voisine (ou d'une partie de celle-ci), etc. Quoiqu'il en soit, une entente raisonnable et contractuelle doit toujours être convenue, et, lorsque la restauration est effectuée hors des limites foncières de l'ISD, le propriétaire des terres doit être directement informé des objectifs et méthodes que le projet s'est fixé.

4.2.2 Identification des bénéfices en restauration écologique

En dernier lieu de cette étape préliminaire, il est nécessaire d'identifier les besoins précis en restauration, et donc les bénéfices que le mandataire du projet souhaite tirer de l'opération. Ces derniers peuvent être de plusieurs natures différentes : écologiques, économiques, socioculturels, esthétiques, éducatifs et/ou scientifiques (bien que l'on retrouve toujours une certaine primauté des bénéfices écologiques).

Les bénéfices écologiques sont souvent les plus évidents à identifier (car toujours présents en cas de succès de la démarche de restauration). Ils sont représentés par l'amélioration directe de la biodiversité, de l'apport aux réseaux trophiques, etc. Les bénéfices économiques, souvent plus indirects, se résument essentiellement au concept de « biens et services écosystémiques », et donc

de « capital naturel » présentés à la sous-section 3.3.1 de cet essai. Les améliorations liées aux aspects socioculturels sont relatives aux concepts d'accomplissement social ainsi qu'aux loisirs et activités récréotouristiques. Les bénéfices esthétiques se rattachent évidemment à la beauté naturelle intrinsèque des écosystèmes et des paysages. Les avantages éducatifs peuvent apparaître lorsque des groupes scolaires ou des étudiants participent directement ou non aux activités de restauration écologique. Une fois les travaux terminés, des animations environnementales peuvent également être entreprises auprès de cette même catégorie de public ainsi qu'auprès d'auditoires différents (industriels, familles, etc.). Enfin, des bénéfices scientifiques peuvent être identifiés tout au long de la démarche, mais également une fois la restauration terminée. L'écosystème restauré peut, en effet, servir, à ce moment, de zone expérimentale ou de modèle pour d'autres opérations similaires. (Clewell et autres, 2010)

4.3 Étape 2 : Caractérisation écologique du site

Avant d'initier les travaux de restauration écologique, il est primordial d'entreprendre une démarche de caractérisation écologique, sorte de diagnostic précis et complet des milieux présents sur le site.

4.3.1 Importance et modalités de la caractérisation écologique

La caractérisation écologique est une étape indispensable à la restauration. On ne peut, en effet, restaurer ce qu'on ne connaît pas ou mal. Il est donc nécessaire de passer par une démarche d'inventaire qui permettra d'établir un diagnostic de l'état actuel du site étudié. Le terme « caractérisation écologique » désigne l'approche scientifique basée sur la méthode suivante.

Une première phase de zonage des espaces naturels présents à proximité du site est tout d'abord à réaliser. Avant de réfléchir sur la restauration même d'un écosystème, il est nécessaire de mettre en évidence les liens que ce dernier peut entretenir avec son environnement immédiat. Dans le cas des ISD, de nombreuses exploitations se trouvent à proximité de zones naturelles remarquables (Zones Naturelles d'Intérêt Écologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF), zones Natura 2000, réserves naturelles, parcs naturels régionaux, arrêtés préfectoraux de protection de biotope, etc.). Si ces milieux sont protégés ou considérés comme remarquables, c'est qu'ils abritent une biodiversité dite remarquable ou des espèces particulières. Du fait de leur proximité avec le site à restaurer, des échanges peuvent avoir lieu entre les différentes entités. Il est donc nécessaire d'adopter une vision globale afin de considérer ensuite, durant la phase d'analyse, l'intégration du projet de restauration dans le contexte écologique actuel (voir section 4.6).

Une première phase d'inventaire des milieux et écosystèmes présents sur le site (tant aquatiques que terrestres) est ensuite à entreprendre. Il est, à ce moment, nécessaire d'établir une description selon une démarche inductive. Il faut donc partir de l'analyse la plus générale (paysages, écosystèmes,

milieux), puis préciser petit à petit chacune des grandes descriptions (par l'intermédiaire d'inventaires d'habitats, de micro-habitats, d'abris fauniques, etc.). Cette analyse initiale, réalisée à partir d'observations tangibles, permettra de dresser un premier état contemporain des lieux et pourra même, dans certains cas, révéler des pistes d'interprétation quant à la trajectoire historique du site. Une fois l'inventaire des milieux réalisé, il est important de caractériser les différents groupes taxonomiques présents sur le site à restaurer (espèces florales, ligneuses, mammifères, amphibiens, oiseaux, reptiles, etc.). Durant cette phase de travail, une description de la composition spécifique doit être effectuée, de même qu'une estimation de la richesse spécifique, dans la mesure du possible. Cependant, selon le responsable de la cellule "conventions d'études biodiversité" du service du patrimoine naturel du muséum national d'Histoire naturelle, interrogé le 16 juin 2015 :

« Il est important de souligner les limites d'un tel l'exercice : tous les compartiments ne peuvent être inventoriés (par manque de temps ou de spécialistes disponibles pour déterminer les différents groupes taxonomiques, ou car certains de ces groupes demeurent trop méconnus, etc.). Par ailleurs, la caractérisation du fonctionnement des écosystèmes est éminemment complexe. Il est donc impossible de comprendre et d'inventorier dans le détail les aspects fonctionnels. Il est néanmoins possible d'en obtenir une idée globalisante sur la base de critères paysagers ou par l'intermédiaire de l'identification d'espèces « clefs » jouant un rôle particulier dans le fonctionnement des écosystèmes (espèces ingénieurs comme les pics, le lapin de garenne, certaines fourmis, etc.). » (Gourdain, 2015)

Une seconde phase d'inventaires naturalistes consiste ensuite en une recherche active d'espèces dites « à statut ». Il s'agit de déterminer si des espèces protégées ou d'intérêt patrimonial (espèces sur listes rouges de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), espèces déterminantes de ZNIEFF, etc.) sont présentes sur le site. Comme toute action nécessitant l'intervention de machinerie ou de matériels et moyens humains plus ou moins considérables, la restauration d'un écosystème peut également être dommageable à une des composantes de l'écosystème. D'une façon plus indirecte, la présence d'une espèce à statut peut également remettre en cause les besoins de restauration d'un site. En effet, certaines espèces rares et/ou menacées de disparition colonisent préférentiellement les milieux pionniers ou dégradés. D'un point de vue de la conservation de la biodiversité, il est alors possible que restaurer et remplacer un site pionnier par une zone boisée, par exemple, ne représente pas la meilleure solution.

Parallèlement à l'étape de caractérisation des milieux terrestres et aquatiques (ou humides) ainsi que des espèces évoluant dans ces derniers, il est important de réaliser une expertise des sols. C'est en effet toujours le substrat (associé à d'autres facteurs abiotiques tels que le climat, l'altitude, etc.) qui détermine la structure des strates végétales subjacentes, et donc le type d'espèces fauniques et floristiques présentes sur le site. Cette expertise constituera un élément clef de la future démarche de restauration. Moins intuitivement, il est également important de caractériser, qualifier, voire quantifier, le degré de dégradation ou de dommage que présente l'écosystème.

Au fur et à mesure de ces phases de caractérisation, il est indispensable de réaliser de nombreuses photographies de chaque composante de l'écosystème afin de matérialiser « l'état des lieux initial » du site qui constituera la base de référence pour juger de l'efficacité des mesures entreprises. Des photographies aériennes ou, *a minima*, effectuées avec un certain recul ou une certaine hauteur sont également indispensables pour rendre compte de la structure communautaire de l'écosystème et de l'ensemble de ses composantes. Enfin, que ce soit pour les inventaires ou les différentes prises de vues, il est primordial de compiler et cartographier l'ensemble des données. Les éléments résultant de cette phase de cartographie permettront d'acquérir une vision globale et complète de toutes les composantes du ou des écosystèmes présents sur le site étudié, ainsi que sur les zones adjacentes.

4.3.2 Exemple d'une méthode de caractérisation de la biodiversité : l'indicateur de qualité écologique du Muséum national d'Histoire naturelle

Dans le cadre d'une convention établie en 2008 avec l'entreprise SITA France (filiale de Suez-Environnement), le Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN) a créé un indicateur synthétique permettant de caractériser un site (notamment une ISD) et d'évaluer la biodiversité présente sur ce dernier. Cet Indicateur de Qualité Écologique (IQE) représente donc un bon outil afin d'évaluer, à grands traits, tant l'état de dégradation des paramètres liés à la biodiversité d'une ISD, que toutes les composantes remarquables qu'elle peut présenter. Il repose en effet sur la caractérisation des habitats naturels et des espèces patrimoniales que ces derniers abritent (notamment à partir d'inventaires flore, oiseaux, reptiles, amphibiens, odonates et rhopalocères), sur la détermination du rôle fonctionnel des habitats naturels ainsi que sur la quantification de leur diversité. La phase pratique est constituée de sessions de terrain réparties en six journées : deux jours d'inventaire en début de printemps, deux jours en fin de printemps, un jour en juillet et un jour en août. L'évaluation de la qualité écologique se fait alors selon les trois facteurs précédemment mentionnés : la patrimonialité des espèces et habitats naturels (40% de la note finale), la fonctionnalité (25% de la note) et la diversité (35% de la note).

Le paramètre de patrimonialité est évalué selon le nombre d'habitats ou d'espèces remarquables (ou menacées) recensés sur le site (soit des composantes désignées par les listes rouges, les listes d'espèces déterminantes de ZNIEFF, les directives « oiseaux » et « habitats » pour Natura 2000, etc.). Le paramètre de fonctionnalité permet d'évaluer la participation du site aux réseaux écologiques, ainsi que la capacité des habitats à abriter des espèces caractéristiques. Ce paramètre est essentiellement établi à partir de constats puis d'interprétations qualitatives réalisées *in situ*. Enfin, le paramètre de diversité rend compte de et évalue la diversité à la fois des habitats et des oiseaux évoluant au sein de ces derniers. Pour chacun de ces trois paramètres, plus la note finale obtenue est élevée, plus l'IQE (et donc la qualité écologique du site) est important. La note maximale, en cumulant les trois types de paramètres, est de 100. Elle correspond, néanmoins, à l'état écologique idéal qui ne peut être atteignable dans un contexte d'exploitation industrielle tel que celui des ISD. Il est également important de préciser que la notation n'est pas une fin en soi. En effet :

« La notation donne surtout une indication globale pour situer le niveau d'enjeux de biodiversité du site à un instant T et identifier les facteurs sur lesquels il est possible d'améliorer la situation. Cette note est aussi à mettre en regard du contexte écologique du site. Un site implanté au sein d'une région de grandes cultures céréalières intensivement cultivées pourra difficilement voir sa note tendre vers 100. Alors qu'à contrario, un site implanté au centre d'un espace très naturel (parc national du Mercantour, réserve naturelle de la Plaine des Maures, etc.), « bénéficiera » de la biodiversité adjacente. En cela, l'IQE est aussi un outil de compréhension des interrelations du site avec son environnement et des potentialités de recolonisation de biodiversité qui en découlent ». (Gourdain, 2015)

La figure 4.3 présente un modèle générique des campagnes de l'IQE permettant de caractériser le potentiel ou la qualité écologique d'un site.

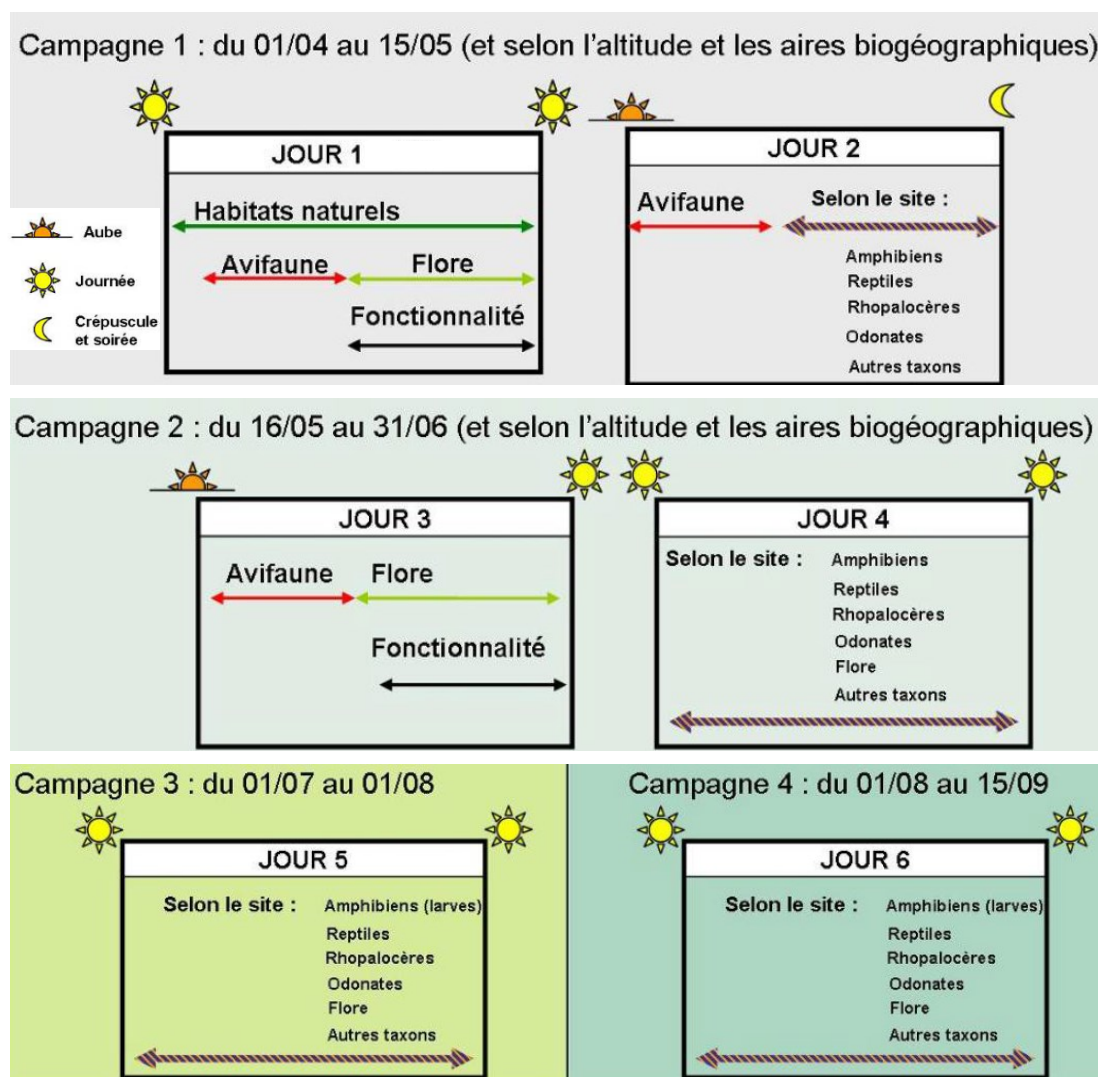


Figure 4.3 Exemple de campagnes réalisées par le MNHN afin de déterminer l'IQE d'un site industriel (tiré de : Delzons, 2013, p. 13)

4.4 Étape 3 : Détermination des buts et objectifs de la restauration

Une fois l'étape de caractérisation réalisée, il est important de déterminer et de s'accorder sur les buts vers lesquels la démarche de restauration devra tendre. Ces derniers ne sont atteignables que par l'intermédiaire d'objectifs spécifiques. Les buts représentent alors plutôt des idéaux et les objectifs, des mesures plus concrètes pour les atteindre (SER, 2004).

Selon Clewell et Aronson (2010), une restauration peut s'inscrire dans cinq contextes distincts, présentés dans le tableau 4.1. Le contexte le plus approprié au projet doit alors être identifié au sein des buts de celui-ci afin de préciser les réelles intentions de restauration et ainsi éviter les éventuels malentendus, sources de confusion, critiques voire conflits ultérieurs.

Tableau 4.1 Les cinq contextes dans lesquels une démarche de restauration écologique peut s'inscrire (inspiré de : Clewell et Aronson, 2010, p. 272-273)

Contexte	Précisions
<u>Rétablissement</u> d'un écosystème dégradé ou endommagé à son stade antérieur	-
<u>Remplacement</u> d'un écosystème entièrement détruit par un autre de même type	Le nouvel écosystème doit être entièrement reconstruit sur un site dépouillé de sa végétation ou de son benthos (systèmes aquatiques). Les remplacements sont courants sur les anciennes mines à ciel ouvert et sur les friches (terrains industriels et urbains sérieusement endommagés, dont ISD).
<u>Substitution</u> par un autre type d'écosystème provenant de la biorégion pour remplacer un écosystème qui a été supprimé d'un environnement altéré de façon irréversible	Cette option est importante pour restaurer des zones naturelles dans un contexte urbain où, par exemple, les conditions hydrologiques d'origine ne peuvent pas être restaurées.
<u>Substitution</u> par un écosystème de remplacement dans un environnement altéré qui ne supporte aucun type d'écosystème naturel existant dans la biorégion	L'écosystème de remplacement peut consister en de nouvelles combinaisons d'espèces indigènes, assemblées pour convenir aux nouvelles conditions du site tel, par exemple, une ancienne ISD.
<u>Substitution</u> par un écosystème de remplacement potentiel car aucun système de référence n'existe pour servir de modèle à la restauration	Cette option est pertinente dans les régions densément peuplées d'Eurasie, où plusieurs siècles d'usage des terres ont effacé tout vestige d'écosystème originel.

4.4.1 Élaboration des buts de la démarche de restauration

Cette sous-étape va permettre de définir la situation finale souhaitée pour le site à restaurer. C'est la phase de travail durant laquelle il faut mobiliser l'ensemble des intervenants et des parties prenantes au projet afin d'obtenir leurs engagements respectifs. La vision commune résultant de cette concertation permettra d'établir les bases de la planification de la restauration écologique. Selon les projets, les buts d'une restauration peuvent être totalement différents mais une telle démarche se doit, dans tous les cas, d'être efficace (en permettant le rétablissement de la fonctionnalité et de l'intégrité écologique du site), efficiente (en ne demeurant pas trop ambitieuse en matière de budget et de rapport coût-efficacité) et engageante (en respectant le contexte socioculturel dans lequel s'inscrit le site) (Agence Parcs Canada, 2008).

On retrouve toujours, au sein des différents projets de restauration écologique, un certain nombre de buts communs visant à rétablir l'intégrité, la santé et la durabilité de l'écosystème. Ces buts ont été listés par la SER en tant qu'attributs permettant de confirmer la finalité d'une démarche de restauration écologique (voir sous-section 4.11.1).

En fonction des composantes considérées, de la superficie du site étudié, du contexte socio-économique dans lequel il s'inscrit ou de nombreux autres facteurs, les buts plus spécifiques d'une démarche de restauration écologique donnée se différencieront par la suite. Par exemple, si la restauration vise la sauvegarde ou la recolonisation d'une espèce en particulier, le but spécifique principal du projet pourra être de réhabiliter des habitats, abris ou micro-habitats propres à cette espèce, de s'assurer que les ressources trophiques nécessaires à sa survie sont présentes, etc. À l'inverse, si aucune espèce particulière n'est à préserver mais que des besoins de retour à une certaine fonctionnalité écologique ou à une intégration dans un réseau écologique ont été identifiés, le but spécifique principal de la démarche pourra être de reconstituer un réseau de haies arbustives, de mares ou de milieux humides, etc.

Par ailleurs, étant donné la complexité des écosystèmes à restaurer et de leurs attributs, les plans de restauration se devront d'être les plus souples et modulables possible, afin de permettre à chaque projet de s'adapter en fonction de l'évolution des différentes composantes de la démarche. Toujours dans cette même optique de flexibilité, un projet de restauration entrepris au sein d'un site devrait également être réfléchi en fonction de son adaptabilité à d'autres sites et d'autres situations. Dans le cas des ISD, par exemple, il est important qu'une bonne diffusion des informations soit effectuée au sujet des projets de restauration entrepris au sein d'une même entreprise. S'ils sont assez modulables, les programmes peuvent en effet être réutilisés pour des démarches similaires et permettre ainsi de gagner un temps précieux, tout en pouvant constituer un facteur de stimulation (publicité) et de facilitation de la démarche.

Quoiqu'il en soit, il demeure important que les buts d'une démarche de restauration écologique s'insèrent dans le contexte environnemental et social du site visé. Il est donc capital de prendre en compte toutes les externalités possibles (voir section 4.6) et de collaborer avec les entités adjacentes au site et possédant une éventuelle influence sur ce dernier (agriculteurs réalisant de l'épandage en amont d'un cours d'eau, associations de chasseurs pouvant limiter les intrants au système, etc.).

Il en est de même pour la notion de référence historique (voir sous-section 4.8.2). Si ce facteur constitue un point essentiel, il est dangereux de ne s'en tenir qu'à cela lors de l'établissement du plan de restauration. En effet, de nombreux paramètres, parfois irréversibles, ont pu modifier la biodiversité présente sur le site voire l'ensemble des milieux naturels qui l'entourent. Les changements climatiques, ainsi que les conséquences irréversibles qu'ils peuvent engendrer sur les milieux naturels, représentent un bon exemple d'externalité qu'il est nécessaire de considérer au plus tôt afin d'éviter de restaurer un écosystème selon une trajectoire incompatible avec les conditions climatiques à venir.

Enfin, une opération de restauration peut présenter plusieurs buts concurrents, ce qui ajoute encore à l'importance de leur établissement au plus tôt dans le projet. À titre d'exemple, restaurer un habitat pour une espèce prédatrice peut entrer en conflit avec la volonté de préserver une autre espèce située plus bas dans le réseau trophique. Il est donc important d'identifier ces éventuels conflits et d'y apporter une solution réaliste dès les débuts de la démarche. (Agence Parcs Canada, 2008)

4.4.2 Élaboration des objectifs de restauration

Pour pouvoir répondre aux buts détaillés précédemment, il est nécessaire d'entreprendre des opérations concrètes afin d'atteindre des résultats finaux spécifiques, nommés « objectifs de restauration ». Par exemple, si l'un des buts de la restauration était de parvenir au rétablissement d'un ancien écosystème forestier sur une zone d'emprise foncière d'ISD ayant été déboisée, puis entretenue régulièrement, l'un des objectifs pourrait être de rétablir un couvert forestier présentant une composition et une richesse spécifiques choisies sur un emplacement délimité du terrain (Clewett et Aronson, 2010).

Dans l'optique d'une gestion de projet efficace, les objectifs de restauration doivent être mesurables, raisonnables et en adéquation directe avec le ou les buts de la restauration. Ils doivent donc être énoncés en cibles précises et quantifiables (par exemple : nombre d'espèces envahissantes supprimées, nombre de plantations effectuées, etc.), mais aussi être délimités dans le temps afin de s'accorder avec la planification, les contraintes réglementaires ainsi que le budget consacré à la démarche. Les objectifs représentent donc finalement de véritables indicateurs pour l'atteinte de buts plus généraux ne pouvant être déterminés de façon empirique.

Utiliser la méthode « SMART », habituellement conseillée lors de l'élaboration d'objectifs pertinents et efficaces, peut s'avérer judicieux et permettre d'assurer une certaine qualité et exactitude dans le choix des objectifs. La figure 4.4 ci-dessous présente la méthode « SMART » et les cinq critères qui la composent.

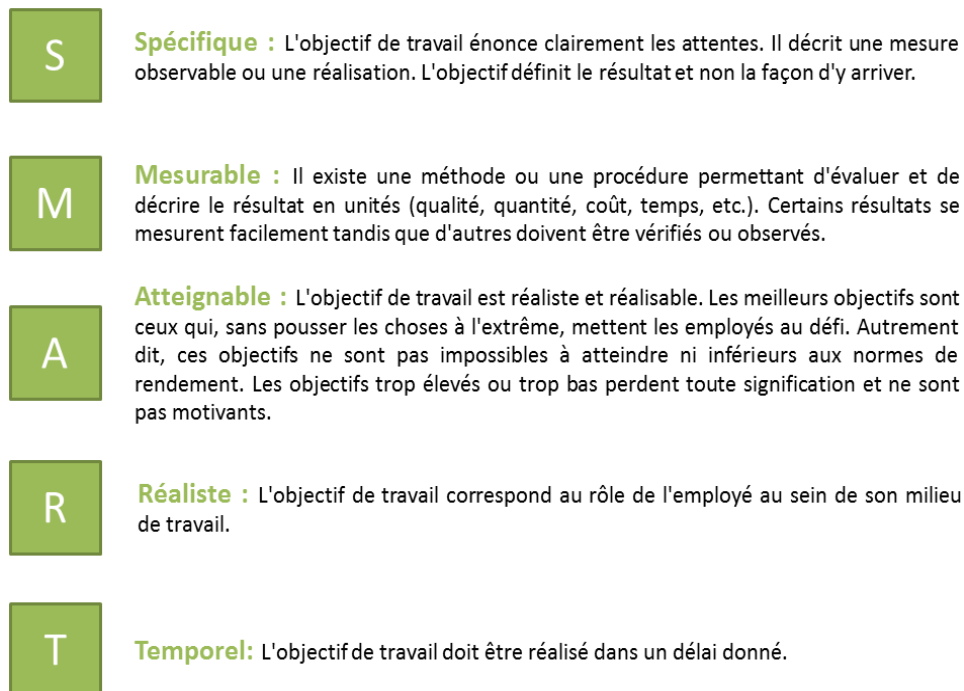


Figure 4.4 Présentation des objectifs « SMART » (inspiré de : Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada, 2015, page consultée le 28 avril 2015)

Tout comme les buts, le nombre et la nature des objectifs de restauration peuvent varier en fonction des projets et de leur complexité (degré de dégradation ou de perturbation de l'écosystème, surface du site à restaurer, etc.). On peut alors retrouver plusieurs types d'objectifs comme, par exemple, les objectifs écologiques, atteignables en manipulant le biote et/ou l'environnement physique (suppression d'une route, remblayage d'un canal, suppression d'espèces envahissantes de façon récurrente et remplacement par des espèces indigènes, etc.), ou encore les objectifs socioculturels, atteignables par l'intermédiaire de campagnes de publicité, de journées portes ouvertes, par la participation du public au projet de restauration (plantations d'arbres par des groupes scolaires par exemple), etc. (Clewett et Aronson, 2010) L'ensemble des objectifs, de même que les actions qui en découlent, seront chiffrées monétairement et délimitées dans le temps au cours des prochaines étapes de planification (voir section 4.9).

Si certains objectifs possèdent des liens réciproques, il est important de préciser par l'intermédiaire de quelle hiérarchie ils seront abordés et si l'atteinte de ces derniers est envisageable de façon

simultanée. Dans le cas de projets plus complexes, il peut être utile d'élaborer des modèles conceptuels qui permettront de structurer la démarche, de faciliter la planification, d'analyser les risques potentiellement inhérents au projet et de mettre en place des objectifs et des hypothèses vérifiables. (Agence Parcs Canada, 2008)

4.5 Étape 4 : Identification des composantes à atténuer, réparer et restaurer

La première phase de cette étape consiste à identifier les conditions physiques du site qui nécessitent d'être restaurées ou réparées. Il peut s'agir de phénomènes tels que l'érosion ou la compaction du sol, la modification du réseau hydrographique ou des sens d'écoulement des eaux, les modifications topographiques directes, etc. La réparation de l'ensemble de ces composantes est indispensable pour assurer le maintien de populations fauniques et floristiques viables qui composeront le biote de l'écosystème restauré. (Clewell et autres, 2010)

La deuxième phase consiste ensuite à identifier les différents types d'interventions biotiques nécessaires à la réparation de l'écosystème étudié. La végétation est souvent le premier élément ciblé lors de ce type de démarche. En effet, la suppression d'espèces envahissantes ou la réintroduction d'espèces locales constituent quasi systématiquement le point de démarrage pour le rétablissement de conditions biotiques viables. Dans le cas où il est avéré qu'elles ralentissent la succession biotique, certaines espèces natives peuvent également être supprimées, avec précaution. (Clewell et autres, 2010)

Parallèlement à cela, des espèces fauniques peuvent être introduites. Il s'agit habituellement d'espèces dites « ingénieuses » de type bactéries fixatrices d'azote ou autres microbiotes du sol et des fonds aquatiques. Les autres groupes fauniques colonisent généralement le milieu par la suite, par migration spontanée. Mais lorsqu'une espèce précise est visée dans le projet de restauration, il est possible de les attirer sur le site restauré, en créant des microhabitats favorables à leur reproduction, des abris, etc. (par exemple, par l'intermédiaire de nichoirs pour les oiseaux, de pierriers et d'hibernaculums pour les reptiles et amphibiens, de bois morts pour les insectes saproxyliques, etc.). Cependant, une bonne connaissance de la biologie et de l'écologie des espèces cibles s'avère nécessaire pour que de telles actions soient efficaces et correctement dimensionnées (connaissance de l'aire vitale des individus, des ressources trophiques nécessaires, des interrelations avec le reste de la communauté biologique, etc.).

4.6 Étape 5 : Réflexion sur l'intégration de la restauration dans le contexte écologique environnant

Pour toute opération de restauration écologique, il est primordial de ne pas considérer uniquement l'unité à restaurer. En effet, une telle démarche doit faire l'objet d'une approche globale et systémique.

Le site étudié doit être pris en compte dans sa globalité et l'ensemble des éventuelles interactions qu'il peut avoir avec les écosystèmes adjacents doit être considéré, d'où l'importance de l'étape de caractérisation décrite précédemment (section 4.3). Le fonctionnement intégral du site doit ainsi être connu en fonction de ses composantes physiques, chimiques, biologiques, voire sociales. (Lévêque, 2008)

Dans le cas d'une ISD, les écosystèmes à restaurer peuvent être parfois aquatiques, parfois terrestres. Lors des phases de chantier, les cours d'eau peuvent être modifiés au même titre qu'une lande ou un boisement. Dans chacun des cas, il demeure indispensable de considérer et d'inventorier, en amont de la démarche, toutes les zones à proximité du site à restaurer et de comprendre les interactions que ces dernières peuvent entretenir avec la zone d'étude. Par exemple, ne considérer qu'un tronçon de cours d'eau pour une restauration hydromorphologique, sans prendre en compte ses parties situées plus en amont, suppose la négligence de facteurs de pollutions, de dégradation ou de non connectivité au réseau hydrographique (barrages, projets de drainage, déviations de ruissellement liées à la construction d'autoroutes, etc.) pouvant menacer l'équilibre de l'écosystème restauré à long terme. Des considérations similaires sont également à prendre en compte pour les perturbations que le projet de restauration pourrait engendrer à l'aval d'un cours d'eau (détournement d'un cours d'eau, augmentation ou diminution du débit, etc.).

Autres que les facteurs de nature écologique, il est important de considérer les composantes plus urbaines ou « anthropisées » à proximité du site d'étude. En effet, restaurer une zone enclavée par des infrastructures urbaines ne constituera pas une action pérenne. De par son isolement, la parcelle ne pourra échanger avec les milieux naturels environnants et, à moins qu'elle ne soit d'une très grande superficie, ne pourra s'autosuffire. La recolonisation du site par des espèces fauniques et floristiques ne pourra avoir lieu. À l'inverse, une opération de restauration entreprise dans une région déjà envahie par des espèces exotiques sera à surveiller de très près afin d'éviter toute colonisation du site par ces dernières.

On arrive ici aux mêmes limites que lors de toute démarche compensatoire réalisée dans le seul but de répondre à une contrainte réglementaire. Il ne faut pas, en effet compenser ou restaurer juste par principe ou par obligation ; ne pas « restaurer juste pour restaurer ». La démarche doit être mûrement réfléchie, selon une vision à long terme. Elle doit être efficace, efficiente et pérenne, et se doit donc de considérer toutes les externalités possibles en estimant de façon réaliste la manière de les contrer.

4.7 Étape 6 : Identification des modalités techniques d'avant-projet

À ce stade de la démarche, plusieurs actions d'ordre technique et organisationnelles doivent être entreprises afin de préparer au mieux le démarrage du projet de restauration écologique.

4.7.1 Détermination des ressources nécessaires à la réalisation du projet

Dans un premier temps, les sources de financement doivent être identifiées, tant à l'interne qu'à l'externe. Il est important d'en effectuer une liste exhaustive et de convenir des ententes et conventions qui permettront d'alimenter le budget du projet et ce, durant toutes ses phases (y compris les étapes de suivi et d'opérations de réajustement qui sont souvent mal appréhendées).

Il en est de même pour les besoins en matière d'équipement, de matériel et de main-d'œuvre. À ce stade du projet, il est temps de recruter le personnel (si la démarche nécessite l'emploi de personnel externe à l'ISD), d'encourager les éventuels volontaires (associations naturalistes, ornithologues, chantiers nature, ou tout autre type d'action partenariale ou de bénévolat), et de sous-traiter le reste des opérations. Il est également nécessaire d'identifier les besoins spéciaux en matériel et en machinerie de toutes sortes.

Les ressources dites « biotiques » sont également à prévoir à ce moment de la démarche. Il s'agit alors essentiellement de réunir les espèces fauniques à réintroduire ou les graines, semis, propagules et/ou plants d'essences locales nécessaires à la recolonisation végétale du site et disponibles sur d'autres sites adjacents ou directement achetés dans le commerce (Clewell et autres, 2010). La récolte et la mise en pépinière de semences ou de plants locaux peuvent également être entreprises. Il est néanmoins nécessaire, dans ce cas, de commencer cette récolte deux ans avant les travaux de restauration afin de permettre une maturité suffisante des plants (dans le cas d'essences forestières) ou un nombre assez important de graines (dans le cas d'espèces herbacées). Afin de s'assurer de la provenance d'essences achetées dans le commerce, un nouveau label a été développé par la Fédération des Conservatoires botaniques nationaux, l'Association Française Arbres Champêtres et Agroforesteries ainsi que l'association Plante & Cité. L'objectif de cette démarche est de mettre en place « des signes de qualité pour garantir la traçabilité de ces végétaux et favoriser une conservation des adaptations génétiques locales » (Fédération des Conservatoires botaniques nationaux, s. d.). Ce label représente une véritable opportunité d'amélioration de la fiabilité des opérations de génie écologique et semble donc important à prendre en considération lors d'une démarche de restauration écologique.

4.7.2 Détermination des conditions d'ordre réglementaire

Comme tout chantier important ayant lieu en milieu naturel, certaines opérations de restauration écologique (travaux d'excavation, de défrichement, de terrassement, etc.) peuvent nécessiter l'acquisition d'autorisations gouvernementales. Dans le cas de projets importants, d'autres autorisations et études peuvent également être requises afin de répondre aux éventuels impacts engendrés sur la faune et la flore protégées (notamment des dérogations pour la destruction d'espèces protégées).

Des contraintes réglementaires liées à l'emprise foncière ou d'autres aspects de propriétés de terrains peuvent également apparaître comme, par exemple, des restrictions légales concernant l'accès de la machinerie et des opérateurs sur le site à restaurer (servitudes, propriétés privées, etc.). Dans le cas particulier où le projet de restauration relève d'une démarche de compensation réglementaire ou de fond compensatoire, il est également important que le plan de restauration soit entièrement compatible avec les modalités exprimées au sein de l'arrêté préfectoral d'autorisation ou de dérogation. (Clewell et autres, 2010)

4.7.3 Détermination de la durée du projet

La durée du projet constitue également un point crucial de la démarche de restauration. Elle déterminera ou influencera directement les investissements financiers à envisager. Un projet de restauration de courte durée peut, par exemple et bien que faisant gagner un temps précieux pour le mandataire, nécessiter d'importants investissements afin de compenser l'absence de temps nécessaire à la réalisation des processus naturels. À l'inverse, plus la durée du projet sera longue, plus il sera aisé de réaliser les objectifs permettant d'atteindre les buts de la restauration. (Clewell et autres, 2010) Il ne faut donc pas se fier à la logique des chantiers habituels pour lesquels les pertes de temps induisent systématiquement des pertes financières.

4.8 Étape 7 : Identification des modalités organisationnelles en lancement de projet

Une fois l'étape 6 réalisée, il est temps d'entamer concrètement le projet en réalisant les premières actions décrites dans les sous-sections suivantes.

4.8.1 Recrutement de la main d'œuvre et préparation du budget

La première chose à entreprendre avant d'aller plus loin dans la démarche est évidemment de recruter les personnes aptes à réaliser les opérations et travaux de restauration.

Du fait de la réelle complexité d'une démarche de restauration, il est tout d'abord nécessaire d'embaucher un praticien de la restauration qui devra, bien sûr, posséder une expertise adaptée à la situation, mais également l'autorité nécessaire pour intervenir avec rapidité lorsqu'un élément menace l'intégrité du projet. Dans le cas de « petits » projets comme ceux pouvant être réalisés au sein d'une ISD, il n'est pas nécessaire de recruter une équipe entière de praticiens de la restauration, ainsi qu'un praticien en chef (qui superviserait l'ensemble des travaux et veillerait à l'atteinte des objectifs). Un seul praticien peut en effet, à de petites échelles, endosser l'ensemble des fonctions du directeur et du gestionnaire de projet jusqu'à celle du technicien et ouvrier de terrain. Cependant, même sur de petits projets, le praticien peut avoir recours à une équipe de travail ou de sous-traitants, ainsi qu'à du personnel technique dont le savoir-faire et l'expertise sont indispensables à la bonne réalisation des travaux. Dans le cas du recours à des entités sous-traitantes, il est important que ces dernières soient

informées de l'intégralité du projet et, en particulier, des buts et des objectifs de la démarche de restauration. (Clewell et autres, 2010)

Parallèlement au recrutement de la main-d'œuvre, il est évidemment capital de préparer le budget nécessaire à la réalisation de l'ensemble des travaux. Ce budget doit comprendre aussi bien les dépenses liées aux salaires ou indemnités, qu'au matériel tant technique que fondamental (ressources biotiques). Il doit également permettre d'inclure les fonds nécessaires à la production des rapports d'études ainsi qu'à la planification des opérations.

Par ailleurs, il est important de garder en mémoire que la restauration écologique est une démarche à variables multiples et qu'il est donc impossible de parer à toute éventualité. Le projet peut donc être victime d'aléas engendrant des coûts proportionnels au temps qu'il faudra pour supprimer, réparer ou compenser les dégradations ou les pertes subies. Clewell et autres (2010) présentent quelques exemples d'aléas potentiellement dommageables à la bonne réalisation du projet :

« les événements météorologiques sévères, les ravages faits par les cerfs et les autres herbivores sur un site de plantations récentes, la colonisation par des espèces invasives, le vandalisme et l'usage imprévu des terres situées dans le paysage ».

Il est donc capital, dès ce moment de la démarche, de budgétiser des fonds pouvant être disponibles dans un très court délai afin de parer à ce type d'imprévus.

4.8.2 Choix et description de l'écosystème de référence

Afin de constituer une base de référence quant à la réalisation et l'évaluation d'une démarche de restauration écologique, un ou plusieurs sites nommés « écosystèmes de références » doivent être définis. Ces derniers peuvent être représentés par de véritables milieux actuellement en évolution dans la nature ou par une description écrite de l'écosystème de référence espéré. La difficulté majeure est d'être le plus représentatif et exhaustif possible dans le choix de modèles de prédiction, afin d'inclure l'ensemble des événements stochastiques qui peuvent survenir lors de l'évolution du site. En effet, ce dernier peut emprunter n'importe quelle direction selon les pressions environnementales auxquelles il est soumis. Une référence sera donc d'autant plus représentative et réaliste qu'elle considérera une multitude de sites de référence. (SER, 2004)

Selon la SER (2004), plusieurs sources d'informations peuvent être utilisées afin d'établir une description de référence lors d'une démarche de restauration écologique :

- Le premier but est de déterminer l'état biologique historique que le site possédait avant la période de perturbation. Il est, durant cette phase, nécessaire de récolter l'ensemble des descriptions

écologiques (écosystèmes, habitats, zones remarquables, etc.), des listes d'espèces présentes à l'époque (tant faunistiques que floristiques) ainsi que l'ensemble des cartographies disponibles sur le site avant les débuts de l'exploitation. Des photographies aériennes peuvent également constituer une bonne source de données actuelles et passées permettant d'acquérir une vue d'ensemble du site au fil des ans. Enfin, des informations peuvent être récoltées auprès d'éventuels vestiges restants sur le site, voire à partir de données paléo-écologiques (pollens de fossiles, charbons, historique des cernes d'arbres, fumiers de rongeurs, etc.), comme cela peut se rencontrer lors de restauration de zones humides anciennes, par exemple.

- Les descriptions écologiques, ainsi que les listes d'espèces d'écosystèmes similaires encore intacts, sont également à regrouper afin d'avoir une idée des composantes d'écosystèmes analogues n'ayant pas subi de perturbations.
- Il est également nécessaire de connaître les différentes évolutions que le site a pu avoir. La récolte de l'ensemble des études, rapports et comptes rendus historiques doit donc être entreprise. Des périodes d'entretien avec des interlocuteurs ayant suivi l'évolution du site et connaissant son histoire sont également indispensables.

Une référence aura d'autant plus de valeur et sera d'autant plus représentative que le nombre et la qualité des données récoltées sera important. Plusieurs types de référence ont été identifiés, notamment par les chercheurs White et Walker lors de leur étude en 1997 (voir tableau 4.2 ci-après).

Tableau 4.2 Les différents type de référence (inspiré de : White et Walker, 1997 et de Clewell et Aronson, 2010 p. 123)

Type de référence	Description	Précisions
MÊME ENDROIT, MÊME MOMENT	L'écosystème à restaurer contient suffisamment d'éléments de son stade antérieur intact pour servir de référence. Il est appelé « autoréférence ».	Dans ces deux cas, la référence sert quasiment de modèle pour le rétablissement de l'écosystème, tout particulièrement si l'écosystème dégradé ne nécessite que peu d'interventions pour retourner à son stade initial intact.
ENDROIT DIFFÉRENT, MÊME MOMENT	Le site de référence principal est appelé refuge, indiquant qu'une partie de l'écosystème demeure intacte et peut servir de référence pour d'autres parties ayant besoin d'être restaurées.	
MÊME ENDROIT, MOMENT DIFFÉRENT	L'information sur la référence qui caractérise l'écosystème avant son déclin existe. Par exemple, il peut y avoir des photos, des rapports ou des documents historiques décrivant l'histoire naturelle locale.	Dans ces deux cas, la référence n'est pas un modèle, mais plutôt une cible à atteindre.
ENDROIT DIFFÉRENT, MOMENT DIFFÉRENT	Aucune information n'est disponible concernant les stades antérieurs de l'écosystème du site à restaurer, mais il en existe pour un ou plusieurs écosystèmes régionaux du même genre, qui occupent une position similaire au sein du paysage et possèdent les mêmes conditions physiques.	
ABSENCE TOTALE DE RÉFÉRENCE	Aucune information n'est disponible concernant les stades antérieurs de l'écosystème du site à restaurer et aucune situation écologique similaire ne semble exister au sein des écosystèmes régionaux.	Voir tableau 4.1

D'autre part, des projets fictifs, ou « projets pilotes », peuvent être réalisés en amont de la démarche afin de tester la faisabilité d'un projet de restauration. Ces derniers peuvent notamment permettre de révéler les points faibles que le projet présente dans sa conception ou sa réalisation avant une application à plus grande échelle. Ce type de méthode peut, par exemple, être très utile pour restaurer un type d'écosystème particulier pour lequel aucune démarche n'a jamais été entreprise. (Clewell et autres, 2010)

4.8.3 Collaboration avec le public afin de faire connaître le projet

Il peut ensuite être décisif d'intégrer le public à la démarche globale de restauration. En effet, plus que de simples observateurs, les riverains alentours constituent de véritables acteurs. Dans le cas de certaines implantations difficiles d'ISD ralenties par des contextes socio-économiques tendus (riverains contestataires, associations et municipalités réfractaires, etc.), une telle démarche peut constituer un véritable atout stratégique qui permettra d'améliorer considérablement l'image du site à long terme. Il est donc important de communiquer en externe sur le projet, voire même de faire participer le public à sa réalisation. Des groupes scolaires peuvent, par exemple, être sollicités pour entreprendre la plantation d'arbustes ou le semis de graines, des « chantiers nature » peuvent être organisés si une étape de débroussaillage est envisagée, etc. Dans le cas où les contraintes réglementaires ne permettent pas ce type d'actions, des journées portes ouvertes peuvent aussi être entreprises dans le cadre d'une démarche globale de sensibilisation à la sauvegarde de la biodiversité. Par l'intermédiaire de ce type de démarche, les visiteurs réalisent souvent qu'une exploitation peut aussi très bien s'inscrire dans une démarche environnementale responsable.

4.8.4 Construction des infrastructures nécessaires à la réalisation du projet

Aussi paradoxal que cela puisse paraître, des infrastructures particulières peuvent être aménagées afin de répondre à certaines contraintes ou faciliter les accès et ainsi diminuer significativement la durée des travaux. Par exemple, l'amélioration des infrastructures peut « réduire les temps d'arrêt, augmenter la sécurité, faciliter les visites par le public, réduire le trafic dans les habitats sensibles, empêcher l'érosion créée par le ruissellement sur les terrains exposés », mais également faciliter le stockage ou l'accès, notamment aux services de pompiers (des pistes de défense contre l'incendie devant parfois être maintenues ou construites selon les besoins) (Clewell et autres, 2010). Il est ensuite important, dans la mesure du possible, de veiller à supprimer l'intégralité de ces infrastructures une fois les travaux terminés, voire au fur et à mesure de la réalisation du projet.

4.9 Étape 8 : Planification des travaux de restauration

À ce stade de la démarche, la phase de réflexion précédant les travaux est terminée. Il est donc nécessaire de reconsidérer l'ensemble des points abordés jusqu'alors en entrant beaucoup plus dans les détails et en précisant les modalités techniques.

Comme pour tout projet, une analyse des risques (plus poussée que celle abordée en sous-section 4.4.2) est maintenant à réaliser. Même si elle est extrêmement délicate à entreprendre du fait du caractère autonome et incertain qu'un écosystème peut présenter tout au long de son évolution, ce type d'analyse doit permettre de mener à l'établissement d'un maximum de *scenarii* en fonction des actions envisagées sur le site à restaurer. Chacun des risques susceptibles de survenir durant une démarche de restauration écologique doit ainsi être listé : non acclimatation et mortalité d'une espèce plantée ou réintroduite, effets en cascades imprévus, répercussions des mesures sur l'écologie des milieux adjacents, etc. La détermination précise des coûts liés à chaque opération (ainsi qu'à chaque mesure de réajustement associée en cas d'échec) doit aussi être effectuée. Contrairement à la sous-section 4.8.1, il ne s'agit plus de dresser un budget global, mais de définir précisément les dépenses estimées (par l'intermédiaire de devis, par exemple). Des mesures trop dispendieuses pourraient, en effet, rendre impossible la concrétisation d'un objectif. Dans une telle situation, il sera nécessaire de réévaluer l'ampleur du but auquel cet objectif était associé et de rechercher un objectif de remplacement (Agence Parc Canada, 2008).

En dehors de l'analyse de risques, le praticien doit identifier, lister et détailler l'ensemble des actions qui devront être entreprises afin d'atteindre les objectifs de restauration (définis à la sous-section 4.4.2). Ces actions, ainsi que les objectifs auxquels elles sont rattachées, doivent être chiffrées et délimitées dans le temps. Un calendrier budgétaire ainsi qu'un échéancier précis doivent ainsi être réalisés.

Enfin, avant d'entamer la phase de travaux, il est nécessaire de se pencher sur la question du matériel, de l'équipement et des ressources biotiques à utiliser de façon beaucoup plus précise qu'à la sous-section 4.7.1. Il est, à ce stade, important de n'opter que pour des ressources bénéfiques à l'écosystème du site à restaurer ou, *a minima*, celles engendrant le moins d'impacts : utilisation uniquement d'essences locales lors des plantations, utilisation d'engins de chantier présentant le moins de risques pour le sol et la strate végétale (compaction, bris, arrachage, etc.), choix de matériaux dégradables plutôt que recyclables ou durables, etc.

4.10 Étape 9 : Réalisation des travaux de restauration

Une fois la planification terminée, les travaux peuvent débuter. Même si elle constitue évidemment la partie la plus importante du projet, cette étape ne peut être davantage détaillée dans cet essai. Les démarches de restauration écologique peuvent, en effet, avoir une multitude de buts et objectifs distincts. Les opérations à entreprendre peuvent donc être de toutes sortes et traduire de nombreuses volontés différentes, ce qui rend impossible la présentation de travaux de restauration écologique « standards ». Plusieurs exemples seront néanmoins abordés au sein du chapitre 5 de cet essai.

4.11 Étape 10 : Évaluation, suivi et communication autour du projet

Bien que la notion de suivi continu n'apparaisse qu'à ce stade de l'essai (ceci dans le but dans maintenir un lien chronologique entre les étapes de réalisation du projet de restauration), il est indispensable d'établir les standards de performances (voir sous-section 4.11.1), et les protocoles de suivi qui leur sont associés, dès le début de la démarche (en parallèle de l'étape similaire d'élaboration des objectifs de restauration, par exemple). Si cette étape n'est pas ou est mal respectée et que les standards de performance n'ont pas été assez réfléchis, des biais peuvent très vite apparaître et mener jusqu'à la déviance de certains objectifs.

Une fois l'ensemble des opérations de restauration effectuées, il est donc nécessaire de s'assurer que le projet demeurera pérenne car une démarche de restauration n'est ni ponctuelle, ni statique. Les écosystèmes, qu'ils soient dégradés, naturels ou restaurés, continuent toujours d'évoluer, avec ou sans l'intervention de l'Homme. Il est donc indispensable de mettre en place un système de surveillance continue afin de s'assurer que le site poursuit bien la trajectoire initialement envisagée, sans subir de perturbations dues à certains oublis ou maladresses survenus dans l'élaboration de la démarche de restauration. Le système de surveillance continue doit également permettre l'ajustement des éventuels écarts, erreurs, ou problèmes lorsque la situation vient à se présenter. Dans certains projets, des effets néfastes non prémédités, ni intégrés à la démarche initiale de restauration, peuvent mener à une remise en cause partielle, voire totale, du projet et de la pertinence de restaurer le site considéré.

4.11.1 Détermination des standards de performance et des outils d'évaluation de la démarche

Afin de faciliter la compréhension de cette sous-section, seul le cas théorique où la trajectoire initialement désirée a été atteinte, est considéré. Il sera néanmoins possible de se rendre compte, dans la section 4.12, que ce type de situation se rencontre en réalité peu souvent lors de la mise en application de ces méthodes de restauration écologique.

À ce stade de la démarche, il est nécessaire de déployer un système d'évaluation et de suivi continu du projet. Il ne s'agit alors plus d'intervenir en tant que tel auprès des écosystèmes restaurés, mais plutôt de se comporter en spectateur, de noter toutes les observations et constats inhérents à la démarche de restauration, tout en se tenant prêts à intervenir en cas de déviation majeure.

Par ailleurs, afin d'apporter des corrections ou d'influencer de futurs projet, il est important de se questionner sur l'atteinte des buts et objectifs fixés en amont de la démarche (voir section 4.4). L'évaluation des buts et objectifs se fait par l'intermédiaire de critères de succès nommés « standards de performance » (SER, 2004). En grande partie déterminés selon les objectifs (pour la nature) et le site de référence (pour la valeur), ces standards permettent de déterminer si les objectifs initialement

fixés ont pu être atteints. Si tel est le cas, cela signifie que l'écosystème restauré ne nécessite plus ou peu d'assistance de la part des responsables de projet. Selon la SER (2004), trois stratégies existent afin de réaliser l'évaluation d'un projet de restauration : la comparaison directe, l'analyse des attributs et l'analyse de la trajectoire. Le tableau 4.3 présente et explique chacun de ces trois concepts.

Tableau 4.3 Stratégies possibles pour assurer l'évaluation d'un projet de restauration écologique (inspiré de : SER, 2004, page consultée le 13 février 2015)

Type de stratégie	Particularités
LA COMPARAISON DIRECTE	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Les paramètres sélectionnés sont déterminés ou mesurés dans la référence et sur les sites de restauration. Si la description de la référence est minutieuse, 20 à 30 paramètres peuvent ainsi être comparés, incluant à la fois les aspects du biote et de l'environnement abiotique. ➤ Lorsque les résultats de certaines comparaisons sont proches et d'autres non, cela peut rendre l'interprétation ambiguë. La question se pose : combien de paramètres doivent avoir les mêmes valeurs et à quel point ces valeurs doivent-elles être proches pour que les buts de la restauration soient atteints ? ➤ L'approche la plus satisfaisante serait de sélectionner soigneusement une suite cohérente de paramètres qui décrivent collectivement un écosystème, complètement mais aussi succinctement.
L'ANALYSE DES ATTRIBUTS	Les attributs sont évalués selon la liste énoncée à la sous-section 4.11.1. Dans cette stratégie, les données quantitatives et semi-quantitatives de l'évaluation et d'autres inventaires sont utiles pour juger le degré selon lequel chaque but a été atteint.
L'ANALYSE DE LA TRAJECTOIRE	Stratégie prometteuse, encore peu développée, permettant d'interpréter de nombreux jeux de données comparatives. Dans cette stratégie, les données collectées périodiquement sur le site de restauration sont analysées pour déterminer les tendances. Celles qui mènent vers la condition de référence confirment que la restauration suit sa trajectoire attendue.

Quelle que soit la stratégie adoptée, il est important de ne jamais se limiter à un seul type de paramètre. Le suivi et l'évaluation ne doivent donc jamais se focaliser sur des considérations purement écologiques. Il est nécessaire d'y intégrer les composantes socioculturelles et socio-économiques qui font partie intégrante du projet et représentent même les deux premiers incitatifs pour l'autorisation et le financement d'un projet de restauration.

D'autre part, une fois la démarche de restauration terminée, il est encore possible que le site restauré ait besoin d'une intervention humaine pour faire face à certaines menaces. En effet, comme tout écosystème naturel, il risque d'être confronté à divers stress tels que des invasions d'espèces opportunistes, de nouvelles dégradations ou pressions anthropiques, des changements de nature climatique ou tout autre évènement non prévisible. La gestion écologique commence alors là où la restauration s'arrête. S'inscrivant dans un même *continuum*, les deux démarches combinées permettent d'assurer la pérennité du site restauré. La restauration écologique assiste ou initie l'autoréparation des écosystèmes pendant que la gestion écologique permet de préserver ces derniers des menaces extérieures sur du plus long terme.

4.11.2 Validation de l'efficacité du projet de restauration

À la fin du projet de restauration, il paraît évident de s'assurer que l'écosystème est définitivement restauré. Mais comment déterminer que la restauration d'un site dégradé est achevée ? D'après quels indicateurs ou quels constats en arriver à cette conclusion ? Afin de répondre à cette problématique, la SER (2004) a proposé une liste de neuf attributs permettant de déterminer si une opération de restauration peut être considérée comme accomplie à 100 %. Ces derniers sont regroupés au sein du tableau 4.4 ci-après.

Tableau 4.4 Attributs attestant de la bonne restauration d'un écosystème (inspiré de : Agence Parcs Canada, 2008, p. 92)

LES NEUF ATTRIBUTS DES ÉCOSYSTÈMES RESTAURÉS	
I	L'écosystème restauré contient un ensemble caractéristique d'espèces de l'écosystème de référence qui procure une structure communautaire appropriée
II	L'écosystème restauré est constitué pour la plupart d'espèces indigènes
III	Tous les groupes fonctionnels nécessaires à l'évolution continue et/ou à la stabilité de l'écosystème restauré sont représentés ou, s'ils ne le sont pas, les groupes manquants ont la capacité de le coloniser naturellement
IV	L'environnement physique de l'écosystème restauré est capable de maintenir des populations reproductrices d'espèces nécessaires à sa stabilité ou à son évolution selon la trajectoire désirée
V	L'écosystème restauré fonctionne en apparence normalement lors de sa phase écologique de développement et les signes de dysfonctionnement sont absents
VI	L'écosystème restauré est intégré comme il convient dans une matrice écologique plus large ou un paysage, avec qui il interagit par des flux et des échanges biotiques et abiotiques
VII	Les menaces potentielles du paysage alentour sur la santé et l'intégrité de l'écosystème restauré ont été éliminées ou réduites autant que possible
VIII	L'écosystème restauré est suffisamment résilient pour faire face à des événements normaux de stress périodiques de l'environnement local, ce qui sert à maintenir l'intégrité de l'écosystème
IX	L'écosystème restauré se maintient lui-même au même degré que son écosystème de référence et a la capacité de persister indéfiniment sous les conditions environnementales existantes. Néanmoins, les aspects de sa biodiversité, de sa structure et de son fonctionnement peuvent changer dans le cadre de son évolution normale et fluctuer en réponse à des stress périodiques normaux et à d'occasionnels événements perturbateurs plus importants. Comme dans tout écosystème intact, l'ensemble des attributs d'un écosystème restauré peut évoluer avec les conditions environnementales

4.11.3 Communication autour du projet

L'information du public au sujet des opérations menées sur le site ainsi que sur l'ensemble des biens et services écosystémiques qui peuvent en résulter, constituent des points décisifs d'une démarche d'amélioration continue. Il est donc intéressant, en fin de projet, de créer des événements médiatiques et des manifestations publiques pour communiquer sur le projet, son déroulement et son but. Créer un rapport d'étude final est également important afin de regrouper toutes les connaissances et données acquises durant la réalisation du projet. Ce dernier peut alors avoir différentes portées : administrative, de communication ou tout simplement technique, voire scientifique. La restauration écologique étant encore un domaine très récent, de tels cas d'application peuvent constituer un exemple voire une possibilité d'amélioration pour les prochains projets de même nature.

4.12 Mise en évidence des limites de la restauration écologique

Si les grandes lignes présentées au sein des sections précédentes peuvent sembler simples d'application, il faut tout de même rester prudent car certains biais et limites empêchent encore de telles démarches d'être optimales, voire tout simplement suffisamment efficaces.

4.12.1 La restauration écologique : une science encore immature

La principale limite du concept de restauration écologique réside dans le fait qu'il s'agit d'une science encore jeune. En effet, la première initiative historique répertoriée dans ce domaine est attribuée à l'Américain Aldo Leopold qui, en 1935, restaura une prairie agricole désaffectée du Wisconsin dans le but de permettre la recolonisation d'espèces fauniques et floristiques d'origine. Il y a donc moins d'un siècle que la « science et l'art de la santé des milieux » existe. (Lévêque, 2008)

Ce manque de maturité entraîne forcément des incertitudes, des flous, voire des incompréhensions de la part des praticiens et autour des techniques qu'ils proposent. Comme cela a pu être abordé au premier chapitre, de nombreux domaines très voisins existent et de la confusion en résulte. De ce fait, certains praticiens ne parviennent toujours pas à s'accorder sur les définitions même des termes (restauration, réhabilitation, réaffectation, génie écologique, etc.).

Outre les divergences de points de vue dans la terminologie exacte à employer, les limites précises du concept de restauration écologique sont également sujettes à débat. En effet, pour une partie des praticiens, que l'on pourrait qualifier de « puristes », la restauration écologique se limite à la « réparation » d'un écosystème afin de lui permettre de retrouver l'intégrité écologique qu'il possédait à l'origine, avant l'intervention humaine. À l'inverse, un deuxième groupe de praticiens, plus pragmatiques, soutient que la restauration intégrale d'un écosystème est souvent impossible du fait des trop fortes dégradations engendrées par les activités humaines et de l'impossibilité pour ce dernier de retrouver sa fonctionnalité et ses composantes originelles. Il faut alors, dans ce type de

situation, se limiter et se concentrer sur la restauration ponctuelle de l'écosystème, en changeant par exemple de vecteur d'analyse : on peut alors chercher à répondre à des attentes esthétiques ou à une réponse fonctionnelle précise en se rapprochant plus de méthodes de réhabilitation ou de réaffectation écologique. Enfin, un troisième groupe de praticiens s'accorde sur un compromis entre ces deux extrêmes. Ils sont conscients que la reconstitution de l'écosystème historique n'est parfois qu'utopique, mais conservent la même orientation de pensée. Dans des situations où un écosystème a été trop perturbé ou sur une période de temps trop importante, la restauration pourrait alors se limiter au retour du site à un état intermédiaire, situé entre l'état historique et l'état dégradé. C'est ce qui peut être appliqué au sein de milieux anthropisés depuis de très nombreuses décennies et dans lesquels la biodiversité a évolué et s'est adaptée à la gestion des territoires par l'Homme (comme c'est le cas, par exemple, pour la Camargue, le Marais Poitevin, les Garrigues dans la région de Montpellier, etc.).

4.12.2 De nombreuses questions toujours en suspens

Comme cela vient d'être abordé, les divergences de points de vue au sein de la communauté de praticiens soulèvent une multitude de questions qui demeurent encore sans réponse.

Dans un premier temps, une mise en accord, ou du moins un éclaircissement, devrait être apporté quant aux choix même des démarches de restauration écologique. Est-il préférable de restaurer intégralement un écosystème, de le faire revenir à un état d'origine et ainsi reconstituer une biodiversité optimale ? Vaut-il mieux tenir compte des contextes socio-économiques actuels et ainsi permettre à l'écosystème restauré de s'y insérer en répondant à des besoins économiques ? Ou ne vaut-il mieux pas finalement trouver un compromis entre les deux concepts ? Aucun critère de sélection, modèle ou évaluation n'existe à l'heure actuelle afin de déterminer lequel de ces trois questions ou principes semble le plus raisonnable en matière d'écologie et d'économie. Les choix sont alors effectués de façon très subjective et dépendent entièrement de la volonté et des convictions du porteur de projet. Un protocole standard devrait être créé afin d'évaluer les bénéfices et les pertes associés à chacun des trois principes et ce, en fonction de chaque démarche de restauration écologique. Ce protocole pourrait alors permettre de déterminer si, par exemple, une activité pastorale serait, d'un point de vue tant socio-économique qu'écologique, plus favorable à un milieu restauré qu'un retour assisté à l'état historique ou bien à une stratégie de non intervention après suppression de la source de dégradation.

Une autre notion reste également délicate à définir lors d'une démarche de restauration écologique : celle de l'écosystème de référence. Et toute la difficulté réside dans le choix de ce dernier. Comment sélectionner l'écosystème de référence le plus représentatif qui soit ? Il serait, dans un premier temps, important de s'accorder sur la nature même de ce dernier. Doit-il se baser sur un modèle théorique, abstrait, voire idéal ? Ou au contraire, mieux vaut-il ne considérer que des références écologiques

présentes dans la nature et restant similaires à l'état visé pour le site à restaurer ? Et si tel est le cas, la proximité du site de référence représente-t-elle un facteur décisif ? Ce dernier peut-il être géographiquement éloigné du site à restaurer, tant que chacun d'eux possède les mêmes caractéristiques physiques, biologiques et écologiques ? Des pistes de réponses ont été apportées à l'ensemble de ces questions à la sous-section 4.8.2, mais des interrogations demeurent tout de même en suspens. Car là encore, aucun outil standard n'existe qui permette de définir l'écosystème de référence le mieux adapté à la situation. Les étapes décrites à la sous-section 4.8.2 ne sont que des bases proposées par la SER afin de guider vers une sélection judicieuse de la référence. Mais la sélection finale est toujours effectuée de façon arbitraire et peut être totalement différente selon les praticiens.

Il en est de même pour les modalités de suivi et d'évaluation. Aucun outil standard n'existe à l'heure actuelle. Il faudrait, comme dans le cadre de toute gestion de projet, créer des outils opérationnels (possédant un tronc commun modulable en fonction des projets) qui permettraient à la fois de suivre et d'évaluer les mesures entreprises, et d'intégrer les approches des parties prenantes au projet (chercheurs, gestionnaires, aménageurs, ...). On sent tout de même actuellement une volonté, de la part de certains chercheurs, de tenter de combler ces manques. Une étude scientifique a, par exemple, été réalisée par Moreno-Mateos et autres (2012) et a permis la méta-analyse de 621 démarches de restauration écologique à travers le monde. La réalisation d'une étude aussi considérable dans le domaine de la restauration écologique prouve qu'une mobilisation des connaissances est possible et qu'en poussant la réflexion plus loin, il serait finalement envisageable de proposer un outil standard d'évaluation.

En outre, très peu d'évaluations semblent à ce jour exister concernant les avantages et les inconvénients que peuvent présenter une démarche de restauration face à une stratégie de non intervention. L'une ou l'autre permet-elle un gain de temps ou d'argent ? Y a-t-il des avantages en matière de fonctionnalité, d'écologie ou de biodiversité plus importants d'un côté que de l'autre ? Aucune indication, aucun barème ni aucun critère n'existe pour permettre de répondre à ces questions. Des analyses environnementales, socio-économiques et de risques plus approfondies devraient préalablement être effectuées car il semble tout à fait possible que, dans certaines situations, la démarche de restauration ne soit pas l'opération la plus viable à mettre en place.

Par ailleurs, les plus grandes questions demeurent quant aux cadres spatio-temporels déterminés pour les démarches de restauration écologique. En effet, concernant l'espace, très peu de valeurs seuils, si ce n'est des normes trop spécifiques (largeur de bande riveraine minimale, nombre maximal de bassins versants anthropisés autour d'un milieu humide, etc.), sont établies afin de déterminer la superficie minimale qui permettrait à une démarche de restauration d'être réussie, autant d'un point de vue écologique que socio-économique.

En matière de limites temporelles, la question devient encore plus délicate. S'il est nécessaire de restaurer un écosystème afin de lui permettre de retrouver son état écologique historique, sur quelle base temporelle faut-il se fixer ? Jusqu'à quel point est-il nécessaire de remonter dans le temps ? Quelques années ? Des décennies ? Ou bien des siècles voire des millénaires ? Il serait important de clarifier et de s'accorder sur la notion même « d'état historique » et de préciser jusqu'à quelle perturbation anthropique il est nécessaire de remonter. Dans le cas des ISD par exemple, l'implantation d'un site s'effectue de façon quasi-systématique sur une ancienne zone cultivée ou pâturée. Dans ce type de situation, l'état historique du site représente-t-il le moment précédant l'installation de l'ISD ou celui de l'arrivée des premiers agriculteurs ou éleveurs ? Il faut également se rendre compte de toute la difficulté d'obtenir des informations historiques quant à l'écologie d'un site avant l'implantation de l'Homme. Si de telles informations peuvent être acquises plus ou moins facilement sur des territoires colonisés depuis peu par « l'Homme industriel » (l'Amérique, l'Australie, etc.), il demeure quasi-impossible d'obtenir ces mêmes résultats sur le continent européen, par exemple, où l'agriculture « impactante » sur le milieu naturel est pratiquée depuis des millénaires (par méthodes d'incendies volontaires, de labours, etc.). La question qui se pose toujours lors d'une démarche de restauration est donc la suivante : faut-il tenter de reconstituer la trajectoire qu'un écosystème possédait avant l'arrivée de l'Homme, ou une restauration jusqu'à une étape intermédiaire de perturbation peut-elle satisfaire aux besoins socio-écologiques actuels ?

En outre, si les limites temporelles antécédentes aux opérations de restauration demeurent encore floues, le cadre de gestion et de suivi à long terme n'est pas moins ambigu. En effet, à quel niveau précis la démarche de restauration devrait-elle se stopper ? Car si des mesures de gestion écologique devraient toujours prendre le relais suite à l'opération de restauration, un suivi scientifique doit également être conservé. Mais jusqu'à quand est-il nécessaire d'assurer le suivi, l'évaluation de l'efficacité des mesures entreprises ainsi que les réajustements à entreprendre si nécessaire ? Vingt, trente, cinquante ans ? Effectivement, si les neuf attributs listés à la sous-section 4.11.1 permettent d'affirmer qu'un écosystème est restauré, aucune mention n'est faite quant aux suivis post-projet à plus ou moins long terme. Idéalement, ces derniers devraient résulter d'une combinaison entre les meilleures données écologiques disponibles et le temps qui est accordé à l'exploitant. Par exemple, si le suivi raisonnable d'une tourbière pour un promoteur n'excède pas quelques années, une telle durée demeure dérisoire sur le plan écologique. Il faudrait, en effet, un minimum de plusieurs dizaines d'années afin d'espérer confirmer une certaine pérennité pour ce type de milieu à l'évolution extrêmement lente. À l'inverse, le suivi de la restauration d'un écosystème prairial peut s'effectuer sur un laps de temps beaucoup plus court, étant donné la maturation et l'évolution plus rapides que ce type de milieux peut présenter. La réelle solution à cette problématique serait donc de trouver le compromis parfait entre l'efficacité des mesures écologiques et les réalités socio-économiques et techniques auxquelles l'exploitant est confronté.

Il est donc évident que, du fait du manque de recul sur cette discipline scientifique encore nouvelle, les démarches de restauration écologique sont encore difficiles à entreprendre. Les opérations demeurent, pour le moment, entreprises sans cadre directeur ni réelles données quantitatives (indicateurs, valeurs seuils, etc.) et relèvent de conceptions et de méthodologies propres à chaque équipe de praticiens. Une grande part de subjectivité, et donc de variabilité subsiste toujours selon les projets, tant sur le plan humain qu'écologique. À chaque démarche de restauration son écosystème particulier, son équipe de praticiens, et donc sa probabilité de réussite...

Qui plus est, l'efficacité et les taux de réussite des démarches de restauration écologiques ne semblent pas encore assez satisfaisants. En effet, l'étude de Moreno-Mateos et autres (2012) mentionnée précédemment, confirme qu'à partir de 621 projets de restauration recensés dans le monde, « la restauration effective des zones humides est souvent lente, incomplète en raison de blocages successifs (techniques et organisationnels), voire impossible pour certains habitats humides (tourbières, prairies oligotrophes, etc.). » (De Billy et autres, 2015). Une autre étude, réalisée trois ans auparavant par Benayas et autres (2009), avance, au contraire, que sur 89 démarches de restauration analysées à travers le monde sur toutes sortes d'écosystèmes (forêts, récifs coralliens, mangroves, prairies, etc.), la biodiversité aurait progressée d'environ 44% et les services écosystémiques auraient été renforcés de 25%. Les scientifiques ne parviennent donc pas encore à s'accorder sur l'efficacité réelle des démarches de restauration dont la réussite semble sensiblement dépendre des angles de vue ou des types d'écosystèmes considérés.

5 LA RESTAURATION ÉCOLOGIQUE DES SITES PERTURBÉS

Maintenant que les étapes d'une démarche de restauration écologique ont été abordées, il est intéressant d'adopter une approche plus pratique et concrète du sujet. Ce cinquième chapitre propose donc, dans un premier temps, de présenter des exemples d'opérations de restauration écologiques entreprises sur des sites industriels. Une seconde partie présentera ensuite un état des lieux succinct des actuelles opérations de restauration écologique entreprises au sein d'ISD.

5.1 Plaine de Cossure : l'un des premiers projets français de restauration écologique à grande échelle

La réalisation du projet de restauration d'un ancien verger industriel (Cossure), dans le département français des Bouches-du-Rhône, a débuté en 2008 et représente, sur le territoire national, l'un des projets pilotes dans ce domaine.

5.1.1 Contexte de la démarche

Le site de Cossure se situe au sein de la plaine de Crau, l'unique pseudo-steppe méditerranéenne française, issue de plusieurs millénaires de pastoralisme. Cet habitat remarquable abrite de nombreuses espèces rares ou endémiques, notamment certains oiseaux steppiques d'intérêt patrimonial comme le ganga cata, l'œdicnème criard ou l'outarde canepetière, ainsi que plusieurs insectes tels que le criquet de Crau ou le bupreste de Crau. Malgré son intérêt patrimonial exceptionnel, la superficie de cette plaine a diminué de près de 80% en quatre cents ans, perte notamment imputable au développement d'une activité industrielle : l'arboriculture. C'est donc l'un de ces vergers, exploité en tant que tel de 1987 à 2006 puis abandonné en 2007, qui fut racheté l'année suivante par le groupe Caisse des dépôts et consignation Biodiversité (CDC Biodiversité) dans le but d'effectuer une restauration écologique permettant le retour à un espace favorable pour l'élevage ovin et la biodiversité en général. (Jaunatre et autres, 2011)

La CDC Biodiversité est une filiale de la Caisse des dépôts et consignations. Créée en 2008, elle a pour rôle de « mettre en œuvre, à la demande des maîtres d'ouvrage, l'intégralité des mesures compensatoires imposées par les services de l'État après une instruction administrative et technique » (Thiévant, 2010). Le rachat du site de Cossure (357 hectares) par la CDC Biodiversité en 2008 visait à créer la première « réserve d'actifs naturels » de France par l'intermédiaire d'une restauration écologique à grande échelle. Le but de la démarche était alors de permettre aux promoteurs de participer au financement des travaux de restauration dans le cadre d'éventuelles mesures compensatoires à entreprendre pour la réalisation d'un chantier présentant des impacts résiduels dommageables à l'environnement. Le prix de ce service de compensation, dite « par l'offre », avait été fixé à environ 35 000 voire 40 000 euros l'hectare. (Oberlinkels et autres, 2010)

5.1.2 Détails de la démarche

Le projet de restauration du site de Cossure a été réalisé par l'Institut méditerranéen d'écologie et de paléoécologie (IMEP), unité de recherche réunissant le Centre national de la recherche scientifique (CNRS), l'Institut de recherche pour le développement (IRD) et les universités de Marseille et d'Avignon. Le but principal de la démarche était de permettre le retour d'un milieu ouvert favorable aux activités de pastoralisme et aux espèces d'oiseaux et d'insectes citées à la sous-section précédente et donc d'adopter une trajectoire conduisant à la végétation de type steppique des climats semi-arides méditerranéens. (Dutoit et Oberlinkels, 2010)

L'ouverture des paysages a été entreprise par l'enlèvement des 200 000 pêchers du verger et des 100 000 peupliers qui constituaient à l'époque une soixantaine de kilomètres de haies brise-vents monospécifiques protégeant les arbres fruitiers. Si ces opérations ont permis, à moyen terme, le retour d'espèces d'oiseaux nicheuses, la recolonisation des communautés végétales et des populations d'insectes pourrait prendre plusieurs dizaines d'années, voire plusieurs siècles. Subséquemment à cette action, les tuyaux d'irrigation ont été enlevés et un nivellement du sol a été entrepris dans le but de faire disparaître les talus artificiels sur lesquelles étaient implantés les pêchers. Des techniques d'étrépage ont également été entreprises afin d'appauvrir le sol et ainsi faciliter le retour d'espèces pionnières, caractéristiques de ce type de milieu. Une autre technique, dite de « forçage des processus de dispersion », a alors été testée sur le site, notamment par l'intermédiaire de transferts de foin et graines (prélevés par système d'aspiration au sein de la steppe non détruite) ainsi que de transferts de sol (par épandage d'une couche superficielle de terre provenant de sols de la région également préservés). Cette technique, en plus d'assurer le transfert du substrat et de graines, permet d'apporter des clones d'espèces pérennes ainsi que la microflore et la microfaune qui permettront l'accélération de la recolonisation des espèces et donc de la reconstitution du sol typique de steppe. Finalement, d'autres espèces, dites « *nurses* », ont été semées sur soixante hectares (fétuque ovine, fétuque élevée, trèfle souterrain, etc.) afin de faciliter la recolonisation d'espèces locales, mais également l'installation d'espèces de fourmis moissonneuses, dont les nids sont favorables à la germination des plantes et qui peuvent contribuer au transport de près de 70 % de graines d'espèces végétales endémiques de steppes. (Dutoit et Oberlinkels, 2010)

La figure 5.1 ci-après présente une cartographie simplifiée des techniques de génie écologique expérimentées sur l'ensemble du site de Cossure. Les deux grandes places de pâturage (avec bergerie et abreuvoir) qui y sont identifiées sont actuellement utilisées par des éleveurs ovins locaux pour un pâturage printanier avec berger, et le seront pour une période de trente ans. Entretenir l'ouverture des milieux par l'intermédiaire d'une telle gestion permettra alors de favoriser le retour à un état de steppe.

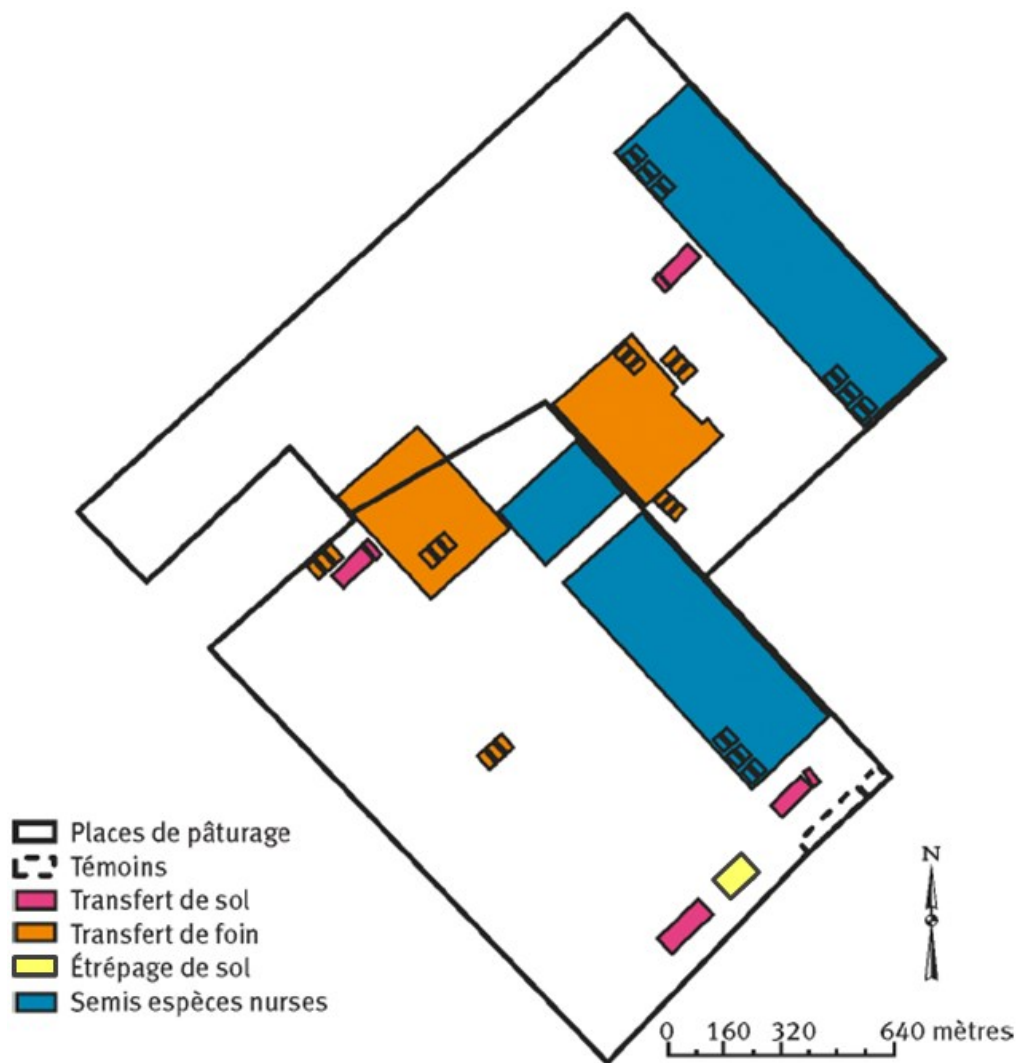


Figure 5.1 Dispositif expérimental des essais de restauration écologique (tiré de : Jaunatre et autres, 2011, p. 38)

La gestion des 357 hectares dédiés au projet est actuellement effectuée par le Conservatoire d'études des écosystèmes de Provence (CEEP) et s'étendra sur une période de trente ans (période au bout de laquelle la CDC Biodiversité s'est engagée à garantir « la pérennité de la vocation agricole et écologique du site et du foncier »). (Dutoit et Oberlinkels, 2010)

5.1.3 Retour d'expérience

Le projet de Cossure fut, dans un premier temps, initié à des fins expérimentales. Il avait pour but de tester les possibilités d'accélération de la résilience d'un écosystème soumis à des pressions culturelles comme l'épandage, le labour, le décompactage, etc.

Après sept ans de réalisation du projet, le bilan écologique reste mitigé. En effet, aucune des techniques de restauration n'a permis de reconstituer une communauté végétale typique de la steppe. Néanmoins, les techniques d'aspiration et d'épandage du foin apparaissent comme étant les plus efficaces et se rapprochent des objectifs escomptés (voir figure 5.2 ci-après).



Réhab. = Réhabilitation ; SEN = Semis d'espèces natives ; Etrép. = Etrépage ; T.Foin = Transfert de foin ; T.Sol = Transfert de sol

Figure 5.2 Résultats de la richesse spécifique obtenue en fonction des techniques utilisées
(tiré de : Dutoit et autres, 2011, p. 41)

De plus, si certaines espèces végétales de la steppe sont bien présentes au sein de l'écosystème restauré, les espèces les plus caractéristiques (comme le *brachypodium retusum*) ou rares (comme le *brachypodium distachyon* ou l'*anthoxanthum odoratum*) demeurent absentes. La figure 5.3 ci-après rend compte de l'abondance des espèces végétales rencontrées au sein d'une communauté de référence, comparée à celle d'une communauté obtenue par transfert de foin. Les zones noires représentent les abondances moyennes relevées au sein des communautés de référence et les zones blanches, les abondances moyennes manquantes au sein des communautés transférées. Enfin, les zones grises symbolisent les abondances moyennes plus élevées au sein des communautés transférées qu'au sein de la communauté de référence.

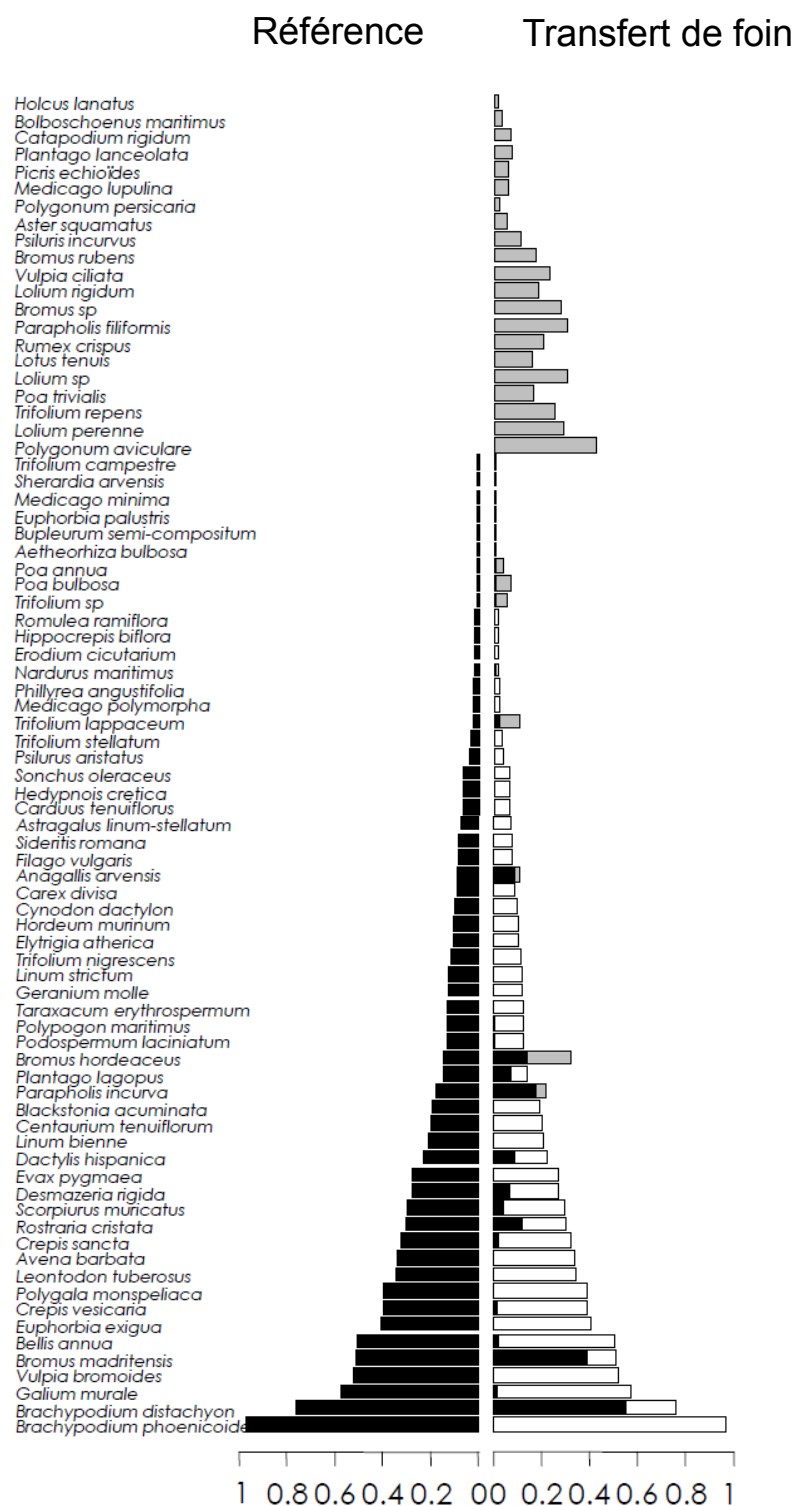


Figure 5.3 Abondances moyennes des espèces rencontrées au sein d'une communauté de référence, versus celles d'une communauté obtenue par transfert de foin (inspiré de : Jaunatre, 2013, p. 87)

Si les résultats de la démarche ne semblent pas à la hauteur des espérances, la reconstitution d'un couvert végétal ras a tout de même permis la restauration d'un milieu favorable à l'avifaune steppique (le retour d'outardes canepetières hivernantes et de mâles chanteurs a notamment pu être observé). D'autre part, il est important de rappeler que les effets écologiques positifs de la réouverture d'un milieu steppique au centre de la plaine de Crau apparaissent comme évidents. En effet, accompagnée du remplacement radical d'une exploitation agricole intensive par un système de pâturage plus traditionnel, cette mesure a permis d'améliorer la connectivité entre les différents écosystèmes de la réserve naturelle nationale des coussouls de Crau, située à proximité immédiate du site de restauration.

Cependant, à l'heure actuelle, aucun bilan réel entre les gains et les pertes engendrés par ce projet de restauration n'a été effectué à l'échelle de la plaine de Crau et de ses environs. Il n'est donc pas encore possible de déterminer si le projet est réellement concluant (Bécher et Olivier, 2014). La restauration intégrale de cet écosystème semblent même, pour certains, actuellement impossible en raison de l'histoire multimillénaire de cet écosystème de très faible résilience (Dutoit & al., 2011). D'autre part, si quelques bénéfices écologiques ont été recensés, aucun n'est à la hauteur des espérances. Le retour d'outardes canepetières, par exemple, est encourageant, mais aucune autre espèce à fort enjeu ne semble avoir été observée en reproduction depuis les opérations de restauration. Des questions se posent donc quant à la qualité des habitats recréés, à moins que ce ne soit le processus de recolonisation par les espèces fauniques qui demande encore beaucoup plus de temps et donc de recul.

Par ailleurs, d'un point de vue économique, il semblerait que la CDC Biodiversité n'ait pas encore récupéré la somme investie dans le rachat des terres du site de Cossure (soit sept millions d'euros). En effet, 152 « actifs naturels » auraient été vendus jusqu'en août 2014, à 40 000 euros chacun. Le total de l'opération a donc permis à CDC de ne rembourser qu'environ six millions d'euros sur les sept investis. (Bécher et Olivier, 2014)

5.1.4 Réflexion sur la pertinence du système de « réserve d'actifs naturels »

Le gain écologique global et réel reste encore à définir pour ce projet pilote. En effet, la quasi-totalité des actifs naturels de la CDC Biodiversité aurait été vendue au titre de mesures compensatoires, notamment reliées à la création de plateformes logistiques entreprises dans la région depuis quatre ans (sur une surface de près d'un million de mètres carrés). Le bilan écologique réel entre le gain apporté par le projet de restauration et les pertes induites par la construction des plateformes n'apparaît donc pas évident. D'autant plus que Bécher et Olivier (2014) avancent dans leur étude (tableau 5.1) que les ratios de compensation des cinq premières transactions de la CDC n'ont pas dépassé un hectare compensé pour un hectare détruit (contrairement au ratio de cinq pour un à dix pour un initialement préconisé par la DREAL de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur).

Tableau 5.1 Bilan des cinq premières transactions de la CDC Biodiversité sur le site de Cossure (tiré de : Béchet et Olivier, 2014, p. 42)

Opérateurs	Année d'aménagement du projet	Surface totale du projet (ha)	Surface d'habitat à outardes détruit (ha)	Surface considérée comme impactée dans le dossier réglementaire de dérogation (ha)	Actifs achetés	Ratio (pour 1)
Epad Ouest Provence Clésud	1999	280	100	37*	40	0,4
SCI Boussard Nord (Groupe Carnivor)	2011	28	28	7**	30	1
SCI Boussard Sud	2013	57	57	57	57	1
SPSE	2009		45	45	10	0,2
PRD (Castorama)	2014	32	32	15	15	0,5
Total			262		152	

* Compensation réalisée a posteriori pour un projet achevé avant la mise en place de Cossure.

** Compensation acceptée pour la destruction de 7 ha d'habitat de lézard ocellé.

Même si nous entrons ici dans un débat différent, il est important de se questionner sur l'instrumentalisation possible des projets de restauration écologiques à des fins compensatoires. Il ne faudrait, en effet, pas oublier le but initial d'une telle démarche, qui est de permettre la résilience (et donc le gain direct) d'un écosystème et non de compenser la perte d'un autre milieu naturel voisin...

Même si sortant quelque peu du cadre de la restauration simple, ce projet pilote demeure intéressant. Il inclut en effet des enjeux économiques externes à la démarche et relance le débat éthique entourant les mesures compensatoires et l'éventuelle « commercialisation de la nature ». Sujet finalement très actuel car il est rare de trouver des projets de restauration (du moins à grande échelle) d'origine volontaire, la plupart d'entre eux étant entrepris dans le cadre de compensations d'origine réglementaire.

5.2 Barrage de Kembs : le projet de restauration colossal piloté par l'entreprise Électricité de France

Un projet de restauration colossal (sans aucun doute l'un des plus ambitieux de France) a été entrepris en septembre 2013 par l'Unité de Production Est de la société Électricité de France (EDF), en collaboration avec le Centre d'ingénierie hydraulique d'EDF. Les travaux devraient s'étaler sur une période de quatre ans.

5.2.1 Contexte de la démarche

Cette opération de grande envergure a pour objectif de restaurer près de 100 hectares de plaine agricole intensive (maïsiculture) ainsi que 7 km d'un ancien bras du Rhin afin de reconstituer un réseau de milieux humides et secs devant permettre la recolonisation d'espèces fauniques locales. Elle a été initiée dans le cadre de mesures d'accompagnement associées à l'étude d'impacts d'un dossier de demande de renouvellement de concession du barrage hydraulique de la ville de Kembs, en Alsace. Les objectifs prioritaires déterminés par EDF au sein de l'enquête publique publiée en 2013 sont les suivants :

« La connexion biologique et création de zones de reproduction, notamment pour les grands salmonidés ;
La création de milieux permettant le retour d'invertébrés aquatiques et terrestres liés aux milieux alluviaux ;
La création de peuplements macrophytiques et hélophytiques de qualité ;
La restauration d'habitats permettant le maintien ou le retour de certaines espèces d'amphibiens, d'oiseaux et de mammifères. » (Demoulin, 2013, p. 15)

5.2.2 Détails de la démarche

L'ensemble du projet a été découpé en quatre tronçons (de 0 à 3, ainsi qu'une connexion piscicole), en fonction des actions écologiques et techniques à mener sur chacun d'eux :

- Un premier tronçon, nommé « tronçon 0 », permet de raccorder le bras d'eau restauré au bassin d'alimentation de la centrale hydro-électrique d'EDF ;
- Le deuxième tronçon, nommé « tronçon 1 » et divisé en deux parties lors des travaux (1A et 1B), se situe dans l'ancienne zone agricole, dans la partie centrale de l'île du Rhin. L'ensemble des anciens champs a été réaménagé afin de recréer un habitat attractif pour les espèces indigènes ;
- Le troisième tronçon, nommé « tronçon 2 », se situe cette fois au sein de la forêt de l'île du Rhin, classée Zone Natura 2000. Les travaux sur cette zone ont, ici, pour but de réhumidifier cette forêt qui était, à l'origine, de type alluviale et qui tend à s'assécher en raison de la chenalisation du Rhin ;
- Enfin, une dernière zone de travaux a permis de créer une connexion piscicole afin d'assurer la communication entre le Grand Canal d'Alsace (GCA) et le Vieux Rhin (VR). (Demoulin, 2013)

L'ensemble des ouvrages est présenté à la figure 5.4 ci-après et plus en détails à l'annexe 2.

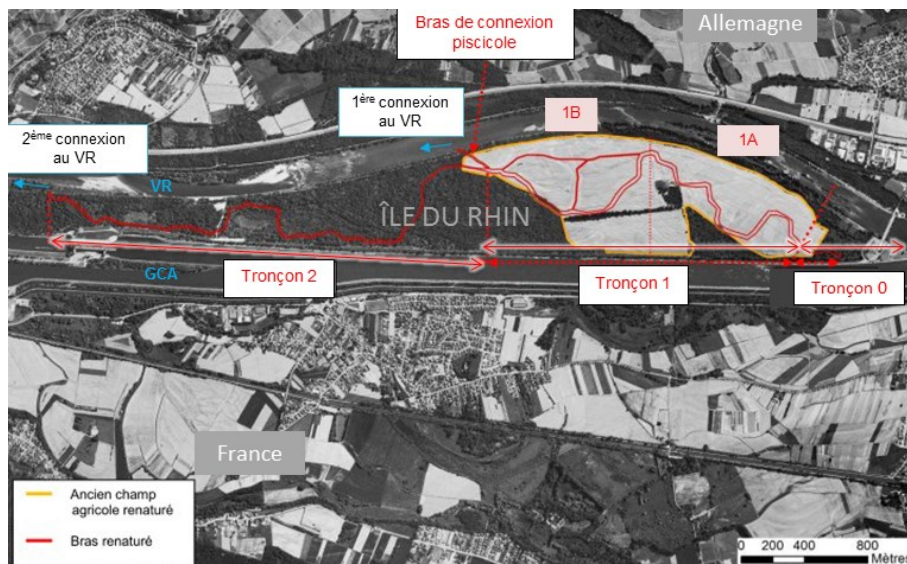


Figure 5.4 Vue en plan du projet de restauration du site de Kembs (inspiré de : Demoulin, 2013, p. 16)

Afin de réaliser l'opération de restauration, plusieurs phases de travaux ont été nécessaires. Il a fallu, dans un premier temps, remanier pas moins de 380 000 tonnes de remblais afin de redonner au bras mort du Rhin, long de sept kilomètres, la configuration qu'il présentait au début du siècle dernier. Des mares alimentées par la nappe phréatique ont aussi été creusées. Les déblais ont servi à la création de buttes sablo-graveleuses sèches, propices aux prairies et pelouses sèches, autres habitats typiques du couloir rhénan. L'arrivée de l'eau au sein du nouveau bras creusé et redessiné s'est ensuite faite par l'intermédiaire de 18 tuyaux alimentés directement par le Grand Canal d'Alsace. Pour favoriser l'hydrodynamisme du cours d'eau, les chenaux ont été volontairement sous dimensionnés, afin que se créent naturellement des zones d'érosion et des zones de dépôts de sédiments. Puis ce sont près de 150 000 plants (ligneux, phragmites, hélophytes, etc.) qu'il a fallu planter sur le site afin de permettre la recolonisation de l'île par une végétation indigène et ainsi donner l'élan nécessaire à la résilience des écosystèmes. Le site était, en effet, colonisé par des espèces exotiques envahissantes localement très dominantes (comme le solidage du Canada) et susceptibles de s'installer très rapidement sur les nouveaux espaces remaniés, au détriment des espèces cibles. Les semences et boutures des espèces locales ont été prélevées sur place, puis ont été multipliées et mises en pépinières, avant d'être à nouveau transplantées jusque sur site.

Au final, le projet sera concrétisé par la mise en fonction de la nouvelle centrale de restitution d'EDF, nommée centrale B, qui devrait permettre d'entretenir un débit d'attrait suffisant à l'efficacité de la connexion piscicole.

5.2.3 Résultats de la démarche

Le projet du site de Kembs est d'une rare envergure, notamment de par sa vocation à recréer une mosaïque complexe d'habitats et d'écotones disparates. Le bras restauré au sein de l'île a bien été réalisé selon les objectifs initiaux et présente donc actuellement quatre sections distinctes : un bras principal, des bras secondaires évoluant au sein des anciennes plaines agricoles, un bras de connexion piscicole reliant le Grand Canal d'Alsace au Vieux Rhin, ainsi qu'un tronçon forestier permettant la réhumidification de l'ancienne forêt alluviale. Ces sections ont, de plus, été complétées par la création de milieux humides de toutes sortes (étangs, réseaux de mares, bras morts, etc.). Elles apparaissent clairement à la figure 5.5 ci-après.

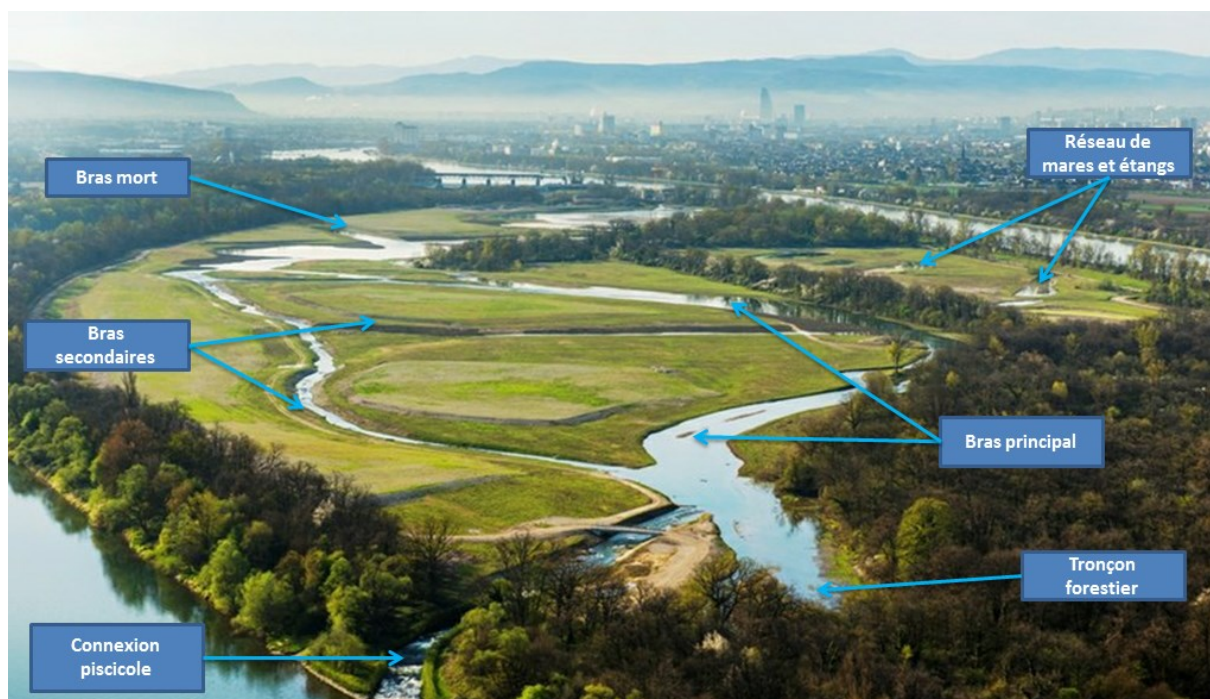


Figure 5.5 Photographie aérienne présentant l'état actuel des travaux de restauration du site de Kembs (inspiré de : Fête de la Nature, 2015, page consultée le 18 mai 2015)

Certaines des zones terrestres ont été recrées de toute pièce pendant que d'autres sont actuellement laissées en libre évolution (un contrôle des espèces exotiques envahissantes étant néanmoins assuré dans ce type de configuration). Une volonté de recréer des habitats assez vastes a également été exprimée (notamment pour permettre le retour du héron pourpré, espèce de roselière, dont la superficie minimale d'habitat est de 14 hectares en moyenne). L'intégralité des matériaux d'excavation résultant des phases de travaux sera réutilisée sur le site même afin d'assurer une provenance locale des terres d'aménagement et ainsi éviter l'intrusion de nouvelles espèces exotiques envahissantes sur l'île. Les tableaux 5.2 et 5.3 ci-après présentent l'ensemble des milieux prévus par le projet, ainsi que leur superficie ou longueur approximatives.

Tableau 5.2 Longueurs des milieux de restauration projetés (inspiré de : Lachat et autres, 2012, page consultée le 23 avril 2015)

Milieux projetés	Longueur (m)
Bras principal	3 200
Bras secondaires	1 250
Bras de connexion piscicole	250
Tronçon forestier	3 500
Total	8 200

Tableau 5.3 Superficies des milieux de restauration projetés (inspiré de : Lachat et autres, 2012, page consultée le 23 avril 2015)

Milieux projetés	Superficie (m ²)
Zones de mégaphorbiaie	19 000
Bras morts connexion au bras restauré	32 000
Mares (eau de pluie)	2 500
Étang/mares + ceinture de végétation	25 000
Zones de roselière	166 000
Milieux humides arborés	72 000
Milieux secs herbacés (sur talus exposé sud)	218 500
Milieux secs herbacés (sur plat)	165 000
Milieux secs embuissonnés sur talus	42 000
Plantation forestière	107 000
Zones à recolonisation spontanée	127 000
Butte sableuse pour hirondelle de rivage	3 000
Diverses structures pour petite faune	5 000
Total	984 000

L'étude étant encore en cours, il n'est pas encore envisageable d'entreprendre un bilan de l'efficacité des mesures entreprises pour le moment. Néanmoins, plusieurs espèces de poissons, amphibiens, hérons et oiseaux migrateurs semblent déjà avoir colonisé les lieux depuis les travaux. À l'heure actuelle, la partie forestière de l'île a été partiellement remise en eau ainsi que le chenal permettant l'ennoisement de certaines parties de la forêt. Malgré d'importantes études hydromorphologiques préalables et en raison de la nature des sous-sols (souvent sableux ou graveleux et donc drainants) et

de leur morphologie (plus ou moins parallèles au cours d'eau), la partie aval du nouveau chenal n'a pas été inondée. Cependant, certaines zones ont mises en eau bien au-delà de ce qui était prévu. Le colmatage par les limons, l'érosion active ainsi que la création d'embâcles suite au dépérissement des essences forestières de sols secs devraient, par la suite, contribuer à augmenter la dynamique naturelle de la zone.

Il n'est de surcroît pas à démontrer, sur le plan écologique, que l'ensemble des habitats restaurés représenteront une attractivité plus forte pour les espèces locales que les champs de maïs présents autrefois sur le site. Cet important projet de restauration est donc à surveiller au fil des ans afin de déterminer ces mesures considérables et onéreuses seront efficaces à long terme. Pour ce faire, plusieurs associations naturalistes, plusieurs groupes de scientifiques, ainsi que le Muséum national d'Histoire naturelle, ont été chargés du suivi naturaliste et biologique du site de Kembs.

5.3 État actuel de la restauration écologique sur des ISD

Si plusieurs projets de restauration commencent à voir le jour au sein de différentes exploitations industrielles, le milieu du stockage de déchets ne semble pas encore avoir suivi le mouvement. Certains grands noms industriels du stockage tels que Suez-Environnement ou de la création de casiers de stockages comme Eurovia ont cependant, depuis quelques années, affirmé leur volonté d'intégrer le volet « biodiversité » à leur activité industrielle, notamment en créant des partenariats avec des entités naturalistes (Ligue de protection des oiseaux, MNHN, associations locales, etc.). L'exemple fort de cet engagement est le partenariat créé avec le Service du patrimoine naturel (SPN) du MNHN depuis 2008 chez Suez-Environnement et 2012 chez Eurovia. Depuis lors, des mesures de suivi faunistiques et floristiques sont réalisées, des plans de gestion écologiques sont mis en place ainsi que des aménagements spécifiques pour la biodiversité (création de mares, poses de nichoirs, réalisation de journées portes ouvertes dédiées à la biodiversité, etc.). Alors pourquoi, bien qu'une certaine volonté semble présente, les ISD demeurent-elles si « frileuses » à mettre en place des mesures de restauration écologique (comme celles présentées dans d'autres domaines d'activité en sections 5.1 et 5.2) ? Tout simplement parce que de nombreuses difficultés demeurent présentes lors de la réalisation d'une opération de restauration, comme par exemple :

- Un manque d'espace disponible du fait des faibles emprises foncières de certaines ISD (l'exploitation des parcelles étant optimisée afin d'accueillir un maximum de déchets) ;
- Des coûts trop importants pour les plus petites exploitations. Un projet de restauration peut (comme cela a pu être développé tout au long du chapitre 4) très rapidement devenir coûteux, tant en matière de temps, que de besoins humains ou de ressources financières. Une telle démarche requière en effet un matériel assez technique, voire innovant, et donc forcément onéreux. La rémunération de l'équipe de praticiens peut également représenter un obstacle important, ces

derniers devant effectuer de nombreuses mesures, suivis et travaux demandant une très forte mobilisation sur le site de restauration.

- Dans cette même optique, une opération de restauration prend souvent beaucoup plus de temps qu'une simple démarche de création d'habitats. En effet, même si la phase de travaux n'est pas forcément plus longue, les démarches, tant préliminaires que subséquentes au projet, sont beaucoup plus nombreuses et assez longues à réaliser (voir chapitre 4).
- La difficulté d'entreprendre la restauration sur les dômes comme solution de réaménagement. En effet, comme le sujet a pu être abordé au cours du chapitre 2, les obligations légales exigent le recouvrement d'un dôme de déchets par une surface de terre végétale de 30 centimètres minimum. Dans un but d'économie de temps et d'argent, la plupart des responsables d'ISD ne se limitent qu'à cette profondeur minimale réglementaire. Dans de telles conditions, il devient très difficile d'entreprendre des aménagements, des activités de pâturage de bétail lourd ou des plantations de végétaux à grandes racines, par risque de perforation des membranes d'étanchéité et donc de contamination du milieu naturel par les lixiviats, à moins d'augmenter de façon suffisante la couche de terres végétales de couverture.
- Enfin, la difficulté fondamentale demeure dans les capacités de résilience des écosystèmes pouvant être présents sur une ISD. Car l'objectif ultime d'une telle démarche est de restaurer de façon intégrale une ISD, une fois la phase d'exploitation terminée et les déchets enfouis. Si les difficultés techniques et financières énumérées ci-dessus parviennent à être surmontées, la question de la faisabilité écologique subsistera. En effet, après un décapage complet des terres, une excavation du substrat et un comblement de la zone par plusieurs dizaines de mètres de déchets, il est difficile de croire que la nature, aussi résiliente puisse-t-elle être, finira par retrouver ses droits. Certains compartiments biotiques, telle que la faune du sol, sont probablement trop fortement modifiés pour espérer être intégralement restaurés. Néanmoins, dans les cas où les terres de couverture sont celles présentes à l'origine et que les alentours sont propices à la recolonisation du site, de nouveaux écosystèmes (parfois proches des écosystèmes originels) peuvent parfois se développer sur ces espaces. Il reste cependant encore impossible, à l'heure actuelle, de retrouver des écosystèmes strictement identiques à ceux d'origine.

Les trois premiers points développés ci-dessus restent cependant généraux et applicables à d'autres domaines d'activité que le stockage de déchets. Il est alors légitime de se poser la question suivante : pourquoi certaines sociétés sujettes aux mêmes contraintes parviennent-elles tout de même à mettre en place des opérations de restauration écologique ? Ce manque d'initiative de la part des ISD relève peut-être des contextes socio-économiques souvent très difficiles auxquels elles peuvent être soumises. De par la mauvaise considération que le public (notamment les riverains) peut avoir envers ce type d'activité, les responsables d'ISD semblent parfois « lâcher prise » en pensant que, peu importe les actions qu'ils engageront, l'image qu'ils véhiculeront sera toujours négative.

Malgré cela, certains exploitants d'ISD (qui ne seront pas cités, par mesure de confidentialité) ont tout de même entrepris des démarches de restauration, notamment dans le sud de la France.

L'un d'entre eux, par exemple, a dernièrement décidé de réaliser une opération d'ouverture de milieux à titre de mesure compensatoire, dans le cadre de l'extension du site. Le but de la démarche était, au départ, de restaurer une zone ouverte de type pelouse sèche à brachypodes, à partir de garrigues dominées par le chêne kermès, pour compenser la destruction d'habitats d'espèces protégées (oiseaux notamment). La fermeture des milieux constitue en effet, avec l'artificialisation des terres (urbanisation, monocultures, etc.), le principal facteur transformant et uniformisant les habitats naturels. Les espèces inféodées aux milieux ouverts sont amenées à disparaître du fait de l'abandon des pratiques agricoles raisonnables telles que le pâturage extensif. Un girobroyage a donc été entrepris sur plusieurs dizaines d'hectares afin d'éliminer la plus grande partie des chênes kermès et des espèces ligneuses participant à la fermeture du milieu. La possibilité d'une gestion de la zone par pâturage extensif est dorénavant à l'étude, car restant indispensable pour assurer la pérennisation de l'action. Cette technique permettrait d'entretenir le milieu en recréant les conditions pastorales d'autrefois. Bien qu'assez innovant, le projet reste à surveiller et son efficacité demeure à évaluer.

Dans un contexte similaire, un autre responsable d'ISD a projeté de revégétaliser une ancienne zone d'exploitation à l'aide d'espèces cibles de pelouses sèches (espèces calcicoles, xérophiles et préférant des sols pauvres en nutriments et en matière organique), dans le but de recréer un type d'habitat similaire aux milieux naturels de la région. L'action a néanmoins fini par échouer, notamment à cause du non-respect des préconisations de l'entité naturaliste qui accompagnait le projet. En effet, du fait de contraintes esthétiques et sociales, la végétalisation devait se faire au plus vite sur le dôme de déchets. Du compost a donc été appliqué sur les terres et a finalement conduit à l'effet inverse du résultat escompté, soit la colonisation par des espèces végétales de milieux riches au détriment des espèces calcicoles et xérophiles initialement semées.

Dans une même optique, une autre exploitation a contribué à l'élaboration d'un projet visant à restaurer une pelouse à brachypodes au sein l'ISD. La démarche résultait d'une concertation entre le MNHN, un bureau d'études, un pépiniériste et l'exploitant. Il était prévu qu'un semencier réalise la récolte d'espèces locales listées par le MNHN sur des terres situées à proximité de l'ISD. Ces dernières devaient ensuite être mises en production au sein des terres du semencier, voire de celles de l'exploitation, afin de gagner en volume de végétaux. Un réensemencement était ensuite prévu sur le site dans le but de restaurer cet écosystème typique de la région. Malheureusement, du fait d'une modification dans les phases d'aménagement du site (un projet d'extension ayant vu le jour simultanément), le projet a été reporté, mais pas avorté. Il est donc possible que ce dernier voit le jour dans un futur plus ou moins proche, si le budget le permet toujours.

D'autres ISD pratiquent également la technique de fauche avec exportation durant laquelle les résidus de végétaux fauchés au sein d'un site sont exportés vers un site voisin afin de revégétaliser une partie, voire la totalité d'un dôme de déchets. Il s'agit donc d'une technique de transfert de foin, à l'instar de celle entreprise sur le site de Cossure (voir section 5.1). Cependant, la démarche est une nouvelle fois entreprise de façon assez empirique et n'est pas couplée à une logique de prise en compte des compatibilités et des relations subsistantes entre les sols, les espèces cibles et les espèces transférées.

Dans chacun des cas abordés, les actions engagées au travers de ces exemples ne relèvent pas d'une démarche de restauration écologique au sens strict du terme. En effet, les entretiens semi-directifs réalisés auprès de responsables d'ISD dans le cadre de cet essai, confirment que la majorité des étapes décrites au chapitre 4 n'ont pas été ou ne seront pas suivies. Par exemple, des écosystèmes de référence existaient mais ont été choisis oralement, et non de façon scientifique et rigoureuse. La situation historique des sites n'a pas été retracée et les modèles de référence précis n'ont pas été déterminés. Les démarches se sont donc basées sur des suppositions et des dires d'experts, pour lesquels l'absence de données historiques a pu entraîner des biais, voire certaines erreurs d'appréciation. La planification du projet, même si elle a eu lieu, a également été entreprise de façon trop hâtive et succincte du fait, notamment, des contraintes réglementaires et des pressions exercées par un apport toujours plus importants de déchets à stocker. Enfin, le suivi et l'évaluation de l'efficacité des mesures, bien qu'envisagés, ne seront peut-être pas engagés si le partenariat avec les entités naturalistes n'est pas entretenu. Dans ces exemples donc, il serait plus approprié de parler de « gestion environnementale » ou « d'aménagement écologique » plutôt que de « restauration écologique ».

Souvent par manque de temps ou de moyens financiers, ou du fait d'importantes contraintes techniques ou réglementaires, les mesures entreprises finissent par ne pas aboutir. Les quelques exploitants initialement motivés se font finalement « rattraper » par les difficultés propres à l'exploitation du site et délaissent, parfois inconsciemment, les projets de restauration écologique envisagés. Par conséquent, les actions réalisées sur les ISD restent assez ponctuelles, localisées et limitées dans l'espace et dans le temps. Ainsi, sur certains sites, de nombreux types de mesures sont réalisés et viennent remplacer des démarches de plus grande envergure (comme la restauration écologique). Des réseaux de haies ou de mares sont créés, de la revégétalisation raisonnée est enclenchée, des zones sont laissées en libre évolution, etc. Toutes ces démarches peuvent tout de même représenter un certain intérêt d'un point de vue écologique à plus grande échelle. En effet, une fois combinées et insérées dans une démarche scientifique robuste, elles pourraient représenter une solution alternative, mais néanmoins intéressante, à la restauration écologique au sein d'ISD.

6 RECOMMANDATIONS

Comme il a été possible de le constater dans le chapitre précédent, si le concept de restauration écologique commence à se développer au sein de certains grands groupes industriels, le monde du stockage de déchets ultimes ne semble pas encore impliqué dans la démarche. Ce chapitre vise donc, au sein d'une première section, à étudier s'il est possible et pertinent de transposer les méthodes utilisées dans d'autres secteurs industriels vers l'exploitation de stockage de déchets. Enfin, une seconde section permet de discuter de l'avenir de la restauration écologique au sein d'ISD.

6.1 Possibilités de transposition des méthodes de restauration efficaces aux ISD

Comme mentionné précédemment, de nombreuses contraintes, tant techniques que réglementaires et sociales, existent au sein des ISD. Il paraît donc important, dans un premier temps, de déterminer les méthodes de restauration pouvant être employées sur ce type de sites sans en entraver les processus d'exploitation.

La première contrainte à surmonter lors d'une proposition de méthodes de restauration reste celle du manque d'espace disponible. Si certaines ISD disposent d'une emprise foncière considérable pouvant permettre la réalisation de mesures écologiques sur des zones naturelles adjacentes aux casiers d'exploitation, d'autres ne possèdent presque aucune surface disponible en dehors de la zone d'activité. Dans ce type de situation, l'unique portion du site pouvant bénéficier d'une restauration est le dôme de déchets. Or, comme cela a été abordé au sein du chapitre précédent, les quelques dizaines de centimètres séparant la surface du sol des membranes protégeant les déchets rendent les opérations difficiles. Il est, dans ce cas, impossible de planter des espèces à racines profondes. L'intervention d'engins de chantier est également prohibée car ils risqueraient d'endommager ces mêmes membranes. Il est donc impossible de s'imaginer entreprendre des travaux de restauration aussi importants que ceux réalisés sur le site de Kembs, par exemple (voir section 5.2). Néanmoins, selon les conditions écologiques historiques et/ou environnantes, il peut être envisageable de recréer des prairies, landes ou autres formations paysagères rases au sommet d'un dôme de déchets (figure 6.1).



Figure 6.1 Exemple de garrigue pouvant être reconstituée sur le dôme de déchets d'une ISD (photographie de l'auteur)

Ce type d'intervention peut représenter une solution de restauration intéressante, à l'instar de ce qui a été fait sur le site de Cossure (voir section 5.1). L'ensemble des mesures réalisées dans cet ancien verger pourraient ainsi être reprises, à commencer par la restauration des milieux ouverts, en veillant à intégrer les étapes d'étude des sols, des espèces cibles et des espèces présentes sur les milieux sources. Une technique de « forçage des processus de dispersion », telle qu'employée sur le site de Cossure pourrait, par exemple, s'avérer efficace et pertinente. Les sites fermés, sur lesquels les réaménagements paysagers ont déjà été effectués, pourraient alors constituer de véritables « banques de graines » pour les ISD encore ouvertes aux alentours (à l'instar de l'exemple présenté à la sous-section précédente et sous réserve d'une compatibilité écologique totale et vérifiée par un praticien de la restauration). Dans ce type de cas, la fauche (pour exportation vers l'ISD à restaurer) doit être effectuée le plus tardivement possible afin de ne pas (ou moins) nuire à la faune ayant colonisé la prairie durant la période estivale. Ainsi, une fauche tardive entreprise aux mois d'août ou de septembre diminuerait les risques d'impacts écologiques sur la faune locale. Il est également important de procéder du centre vers la périphérie de la parcelle, afin de faciliter la fuite des espèces animales. Une fois les fauches réalisées, l'exportation des résidus (ou des sols) peut alors être entreprise sur les dômes de réaménagement ciblés, au sein d'une ISD en cours d'exploitation. Il est en effet important de développer des actions écologiquement responsables sur les « sites sources » afin de conserver une logique de bénéfices pour la biodiversité : récolter les résidus de fauche sans précautions ni considérations écologiques ne ferait, finalement, que transférer les sources d'impacts vers un autre milieu. Même si les buts de la restauration sont toujours très importants à garder en tête, il est également primordial de s'interroger sur les moyens utilisés pour les atteindre.

Lorsque les travaux se sont montrés concluants et que la parcelle est entièrement restaurée, des activités de pastoralisme peuvent être envisagées. Il reste cependant important de sélectionner les espèces les plus adaptées au contexte du site. Il faut, par exemple, veiller à ne faire pâturer que des espèces assez légères qui ne risqueront pas d'endommager la couche superficielle ou les réseaux de biogaz. Un pâturage extensif composé de brebis, associées à quelques chèvres peut, par exemple, représenter une bonne solution.

À tout cela peut s'ajouter, en fonction de l'espace disponible, des actions ponctuelles de restauration, sur les zones adjacentes aux dômes de déchets.

L'impact visuel que représente une ISD incite souvent les responsables à planter des espèces ligneuses et arbustives afin de créer un écran visuel efficace. Malheureusement, pour des soucis d'esthétisme, mais également de manque d'accompagnement (absence de conseils ou préconisations de professionnels paysagistes dont la priorité reste souvent l'esthétisme et non la provenance locale des essences), de nombreuses espèces horticoles sont plantées. La première base de restauration d'une ISD serait donc de supprimer l'intégralité des essences non locales (pinèdes, mimosas,

robiniers faux-acacias, etc.) et de les remplacer par des espèces d'arbres et arbustes originaires de la région. Un suivi de ces opérations doit cependant être assuré sur plusieurs années afin de s'assurer de l'efficacité de la mesure et d'éviter que les espèces précédentes (notamment invasives, comme le robinier) ne reprennent le dessus ou que d'autres espèces indésirables ne profitent de la suppression des ligneux pour coloniser le terrain.

Des aménagements ou infrastructures bétonnées ou membranées (fossés, bassins, puisards, etc.) sont souvent réalisés sur les ISD et représentent de véritables pièges mortels pour toutes sortes de faune (reptiles, amphibiens, mammifères, voire même oiseaux pour les puisards). Lorsque les contraintes techniques et réglementaires le permettent (il faut avant tout éviter l'infiltration des lixiviats dans le sous-sol), il est donc important de rendre un caractère plus naturel à ce type de structure (par destruction et enlèvement des parties imperméabilisantes, puis par végétalisation des berges et des bordures). Dans le cas où des mares, étangs ou autres milieux humides ont été asséchés, dénaturés ou détruits, une restauration peut aussi être envisagée afin de leur redonner leur fonctionnalité.

Les zones excavées pour les besoins du chantier peuvent également être remblayées puis restaurées de la même manière que les terres de couverture de dômes, en utilisant les mêmes techniques de « forçage des processus de dispersion ». Ne présentant cette fois-ci aucune limitation du fait de la faible profondeur de terre, une recolonisation (spontanée ou assistée) par des essences ligneuses peut être envisageable, selon les écosystèmes historiques propres à chaque site. Il en est de même pour les zones déboisées pour les besoins de circulation des engins de chantier, ou les parcelles de milieux ouverts ayant été fauchées de manière régulière pour des raisons de sécurité (visibilité, risques d'incendie, etc.).

Enfin, des opérations de restauration beaucoup plus importantes peuvent également être envisagées sur les sites possédant de larges terrains vierges ou des parcelles adjacentes à l'enceinte réglementaire d'ICPE. Ces zones sont généralement entretenues de manière intensive, pâturées ou parfois laissées en libre évolution. Selon les circonstances et les états historiques de chacune de ces parcelles, des opérations de restauration écologique peuvent être entreprises, à l'instar de l'ouverture de milieux réalisée sur une ISD du Sud de la France (abordé en section 5.3).

De nombreuses autres méthodes de restauration peuvent être utilisées pour redonner un caractère naturel aux milieux naturels présents sur une ISD. Le tableau 6.1 ci-après propose une synthèse ainsi qu'une rapide analyse de quelques techniques de restauration pouvant être utilisées dans un contexte de pelouses littorales aérolines (soumises aux embruns) impactées par la sur fréquentation humaine, mais transposables à toutes sortes de démarches de restauration écologique de milieux terrestres.

Tableau 6.1 Comparaison globales de plusieurs méthodes de restauration écologique (tiré de : Gallet et autres, 2011, p. 19)

Types	Techniques	Avantages	Inconvénients	Bilan
Passive	Mise en défens	<ul style="list-style-type: none"> • Coût limité. • Favorable à l'installation d'une végétation locale et adaptée. 	<ul style="list-style-type: none"> • Temps de restauration parfois long. • Efficacité limitée si la dégradation est très forte et non maîtrisée. • Mise en place difficile sur substrat rocheux. • Acceptation parfois difficile si elle contredit les usages locaux. 	Méthode à privilégier dans la plupart des cas. La mise en œuvre doit tenir compte des circuits de circulation « spontanés » existant sur le site via la réalisation d'un diagnostic de fréquentation. Doit être mis en place avant que la dégradation ne soit trop forte.
	<ul style="list-style-type: none"> • par systèmes bas (monofil) • par systèmes hauts (ganivelle) 	<ul style="list-style-type: none"> • Intégration paysagère, canalisation efficace. • Canalisation efficace des visiteurs. 	<ul style="list-style-type: none"> • Peut facilement être traversé, marquage symbolique. • Intégration paysagère. 	Méthode de canalisation efficace, globalement respectée. Peut être utile pour marquer fortement les aménagements.
Active	Pose de filet biodégradable	<ul style="list-style-type: none"> • Facilite la germination. • Limite l'érosion. • Disparaît en quelques années. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût important. • Impact visuel initial plus ou moins fort. • Efficacité moindre en conditions très exposées. • Enrichissement du sol ? 	Méthode potentiellement efficace, en situation de retrait par rapport à la falaise, ou en pente où elle permet de limiter l'érosion. Favorise l'implantation des espèces locales, par piégeage de graines. Protège les plantules du broutage (lapins).
	Transfert de mottes	<ul style="list-style-type: none"> • Impact visuel immédiat. 	<ul style="list-style-type: none"> • Destruction du site donneur. • Risque de transfert d'une végétation inadaptée. • Problème de survie en cas de sécheresse l'année du transfert. 	À limiter à de petites surfaces, pour marquer notamment la fermeture de chemins, ou revégétaliser rapidement des secteurs très dégradés ou soumis à l'érosion.
	Transfert de sol	<ul style="list-style-type: none"> • Efficacité à court terme. 	<ul style="list-style-type: none"> • Destruction du site donneur. 	Peut s'envisager lorsqu'un aménagement prévoit la destruction d'une surface donneuse.
	Transfert de biomasse ou de litière	<ul style="list-style-type: none"> • Efficacité à moyen terme. • Non destructrice. 	<ul style="list-style-type: none"> • Doit être combiné avec la pose de filet pour éviter la dispersion par le vent. • Mise en place lourde et coûteuse (récolte, transfert...). 	Permet d'apporter une source locale de graines et d'orienter la restauration vers le système de référence.
	Décompactation	<ul style="list-style-type: none"> • Accélère la recolonisation. 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de favoriser l'installation d'espèces indésirables (rudérales ou invasives). • Efficacité parfois limitée sans respect de la mise en défens. 	En combinaison avec la pose de filet, permet une accélération des processus initiaux de recolonisation en cas de sol très fortement compacté.
	Semi (non testé)	<ul style="list-style-type: none"> • Végétalisation rapide. • Effet couvre sol. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sources de graines (origine géographique, cultivar). • Artificialisation du milieu. 	À éviter en dehors d'aménagements paysagers et privilégier les graines de provenance locale.

6.2 Discussion et perspectives d'évolution

Comme il a été possible de le remarquer tout au long de cet essai, la restauration écologique constitue un sujet extrêmement complexe car dépendant de nombreux facteurs, tant écologiques que socio-économiques, techniques, etc. Si une telle démarche reste encore délicate à engager auprès d'acteurs sensibilisés, elle l'est d'autant plus dans d'autres milieux, tels que les ISD, où le terme lui-même est encore inconnu des décideurs et des porteurs de projets. Certaines remarques et pistes d'amélioration peuvent cependant être apportées afin de se questionner sur les perspectives d'évolution d'une telle démarche au sein des ISD.

6.2.1 Renforcer les connaissances dans le domaine

Il semble, dans un premier temps, important de continuer d'acquérir des connaissances sur cette science encore jeune. Il est capital de parvenir à développer les recherches scientifiques ainsi que les tests grandeur nature pour tenter de mieux cerner le sujet. Cette acquisition devrait être d'autant plus profitable aux promoteurs qu'elle leur permettra de diminuer les coûts inhérents à chaque projet de restauration. En effet, plus les réponses écosystémiques sont appréhendées avec exactitude, moins les risques d'échecs des démarches de restauration sont significatifs.

Une fois cette étape bien avancée, il serait nécessaire de regrouper ces connaissances et de les inscrire au sein de modèles formalisés. Si les opérations de restauration écologique diffèrent du fait des nombreux facteurs entrant en jeu, un tronc demeure commun à chacune d'elle. Il pourrait donc être intéressant de créer des guides, conseils ou lignes directrices afin d'accompagner les décisionnaires engagés dans ce type de démarche (à l'instar de ce que propose le chapitre 4 dans le présent essai, mais en plus approfondi).

6.2.2 Communiquer, sensibiliser et former les parties prenantes à la restauration écologique et à la préservation de la biodiversité

Mieux communiquer pour faire valoir les bénéfices qu'une entreprise peut tirer d'une démarche de restauration paraît également capital, et ce, pour plusieurs raisons.

Tout d'abord, trop de responsables de sites considèrent encore la biodiversité comme une contrainte, et non comme une opportunité. Les dossiers réglementaires (voir section 2.3) sont souvent longs et lourds à mettre en place et finissent par soulever une véritable crainte auprès des exploitants. Entreprendre une communication efficace articulée autour des bénéfices directs que de telles mesures peuvent représenter permettrait donc de démystifier le concept de préservation de la biodiversité. L'intégration territoriale et la valorisation de l'image de l'entreprise sont alors les deux principaux arguments à utiliser. En effet, la totalité des responsables d'ISD questionnés sur le sujet lors d'entretiens réalisés dans le cadre de cet essai, reconnaît, voire revendique, le fait que la mise en œuvre de mesures de génie écologique sur leur site a activement participé à sa bonne intégration paysagère et territoriale. Le besoin se fait d'autant plus ressentir au sein d'ISD pour lesquelles l'image de « monstre industriel » polluant continuellement le sous-sol est encore omniprésente dans l'esprit du public et de nombreux riverains.

Outre la communication auprès des responsables d'ISD, il demeure primordial, une fois des actions de génie écologique ou de restauration écologique mises en place, de valoriser le travail accompli (comme précisé à la sous-section 4.11.2). Plusieurs vecteurs de communication peuvent, pour cela, être utilisés : panneaux d'affichage pédagogiques (à propos de la biodiversité présente sur le site et

des mesures mises en place pour la préserver ou la recréer), plaquettes de communication, journées portes ouvertes et visites de groupes scolaires (comportant un volet biodiversité durant lequel les actions de restauration écologique sont valorisées), « chantiers nature » (à mettre en place lors d'éventuels travaux de création ou d'entretien des mesures de restauration écologique), etc.

Dans ce même sens, une ISD fermée et partiellement, voire entièrement restaurée, pourrait constituer un vecteur de communication extrêmement valorisant pour l'entreprise. Dans ce cas encore, réaliser des journées portes ouvertes ou inviter les médias sur de telles installations permettrait de montrer au grand public ce à quoi peut ressembler une ISD une fois les activités d'enfouissement terminées et de mettre en lumière toutes les mesures entreprises afin d'atteindre un état écologique similaire à celui précédant la période d'exploitation.

Enfin, outre les possibilités de communication, il est indispensable de réaliser des séances de formation et d'éducation auprès des parties prenantes aux activités de stockage de déchets, tant au niveau local que régional. Ce type de méthodes reste le procédé le plus efficace pour transmettre des informations et pour impliquer et inciter les parties prenantes à s'investir dans des démarches de restauration écologique. Il serait alors possible d'imaginer l'organisation de séminaires durant lesquels des responsables de projets de restauration écologiques livreraient les clefs et les conseils nécessaires à la réalisation de telles démarches au sein de sites industriels perturbés. Une fois les projets de restauration engagés sur certaines ISD, il serait intéressant d'entreprendre ce même type de réunions en interne, au sein d'une même entreprise, afin de partager les différents retours d'expérience et d'accompagner les responsables d'autres ISD décidés à s'engager sur cette voie.

6.2.3 Intégrer la possibilité d'une démarche de restauration écologique dès la conception d'une ISD

Une notion importante à développer serait d'intégrer les possibilités d'une démarche de restauration écologique dès la conception d'une ISD. En effet, lors des entretiens réalisés auprès de chefs de sites, attachés d'exploitation et ingénieurs environnement dans le cadre de cet essai, un point prédominait souvent : même lorsque la motivation est présente, les investissements nécessaires à l'aménagement d'un site afin d'y entreprendre une démarche de restauration écologique s'avèrent souvent trop importants. Ceci est dû, en grande partie, au besoin de réorganisation du site qu'il est généralement nécessaire d'entreprendre dans ce type de situation. Si la démarche était réfléchie dès les débuts de l'exploitation d'une ISD, de nombreux coûts pourraient être évités (destruction de fossés bétonnés, destruction de routes ou sentiers de ronde, déviation de réseaux de biogaz, etc.). De telles démarches de réflexion, en amont de toute implantation d'ISD pourraient, de plus, servir de vecteurs de communication auprès tant des entités réglementaires (facilitation des démarches de demandes d'autorisation d'exploiter) que des riverains collaborateurs ou de toute autre partie prenante à l'exploitation d'une ISD (acceptation sociale et territoriale du site avant même son implantation).

Dans une même optique, il serait possible de considérer davantage la restauration écologique lors des propositions de mesures de compensation aux ISD. En effet, les types de démarches demeurent souvent les mêmes : préservation de zones humides ou de boisés, création d'un réseau de mares sur une parcelle adjacente au site, financement de suivis écologiques de milieux d'intérêt patrimoniaux, etc. Il pourrait être judicieux de diversifier les propositions en considérant à la fois des mesures restauratrices et des mesures conservatrices et de création d'habitats. Cette perspective pourrait, en effet, être considérée pour deux raisons. La première serait que, en parallèle de préserver un milieu naturel déjà existant par l'intermédiaire de mesures de conservation, la restauration permettrait d'engendrer un gain direct en redonnant sa fonctionnalité à un milieu dégradé. Plutôt que de se limiter à la conservation du capital naturel actuel d'un territoire, mettre en place des méthodes de restauration en supplément permettrait de l'augmenter en lui permettant de retrouver des parts qu'il aurait perdues au détriment des activités humaines. Le deuxième argument serait que la restauration écologique d'un site suppose la présence de certaines prédispositions biologiques qui permettraient d'offrir plus de chances de réussite à un projet que lors d'une création pure et simple d'habitats. Selon Barnaud et Coïc (2011) et Minkin et Ladd (2003), la restauration comme mesure de compensation, notamment dans le cas des milieux humides, serait intéressante car :

« *a priori*, la zone est prédisposée à accueillir ce type de milieu. Il est admis que le taux de réussite est alors plus élevé comparativement à celui de la création *ex nihilo* par exemple (...). Souvent, des caractéristiques hydrologiques propices à l'installation d'un milieu humide ont perduré, le site étant partiellement connecté ou à proximité d'un réseau hydrographique. Par ces prédispositions environnementales, la restauration est à privilégier par rapport à la création, dans la mesure du possible. »

6.2.4 L'éventualité d'une certification ou d'une déduction fiscale

Label FSC, certification ISO 14 001, écolabels en tous genres... Une multitude de programmes de certification ou de labellisation environnementale, sont chaque année, sollicités afin de valoriser les actions que les entreprises privées peuvent réaliser en faveur de la préservation de l'environnement. La question peut donc naturellement se poser quant aux démarches de restauration écologique. De tels programmes permettraient une certaine reconnaissance de ce type de mesures, tout en incitant un plus grand nombre d'entités, industrielles ou non, à investir dans cette voie. Clewell et Aronson (2010) soulignent d'ailleurs que « l'existence même d'un programme de certification serait une déclaration forte, montrant que la restauration écologique n'est plus un mouvement social diffus ni une activité anecdotique curieuse ».

Dans une même optique, la possibilité d'une subvention publique pourrait être envisagée lors de l'obtention d'une « certification de restauration ». Cette aide financière pourrait, par exemple, prendre la forme d'une exonération ou d'une diminution de taxe comme cela est déjà utilisé au sein des ISD avec la taxe générale sur les activités polluantes (TGAP). L'obtention d'une certification ISO 14001 ou *Eco Management and Audit Scheme* (EMAS) permet, par exemple, une diminution significative de

cette TGAP pour un exploitant, afin d'encourager le contrôle des extrants d'ISD ou, plus généralement, la préservation de l'environnement (*Circulaire du 10 avril 2014 sur la taxe générale sur les activités*). Une démarche similaire pourrait être envisagée (sur la TGAP ou d'autres taxes) pour des mesures de restauration certifiées engagées sur un site pendant ou après la période d'exploitation. Le recours à une déduction fiscale permettrait en effet, même s'il ne s'agit pas de la solution la plus éthiquement acceptable, de donner un élan supplémentaire pour le développement de ce type de démarches au sein d'installations de stockage de déchets. Cependant, avant d'espérer atteindre ce but, il est indispensable de démontrer que les résultats obtenus lors d'opérations de restauration engagées ou à engager, restent scientifiquement pertinentes et satisfaisantes. Cela rejoint les questionnements précédemment soulevés quant à l'inexistence, à ce jour, d'outils de suivi ou d'évaluations précis et, plus généralement, quant à nos capacités mêmes à restaurer un écosystème.

CONCLUSION

Dans le contexte actuel d'érosion de la biodiversité, la restauration écologique peut représenter une solution efficace pour recréer des habitats dégradés par les activités humaines et ainsi tenter d'enrayer ce phénomène alarmant. Développer de telles méthodes sur des sites amenés à être réaménagés en fin de vie constituerait une approche pertinente dans un secteur industriel déjà sensible à la remise en état du milieu naturel après dégradation.

C'est donc dans ce contexte que le présent essai a proposé d'analyser les possibilités de mise en œuvre de démarches de restauration écologique au sein d'ISD françaises. Cet objectif principal a été rempli grâce à l'atteinte des objectifs spécifiques qui lui étaient rattachés. Un questionnaire général a ainsi permis de démontrer la pertinence de telles opérations dans le domaine du stockage de déchets, puis une trame méthodologique a été présentée, au sein du chapitre quatre, et déclinée en dix grandes étapes générales et adaptables à chaque type de projet. Des exemples concrets ont ensuite permis d'étudier les possibilités de transposition de méthodes de restauration écologique pertinentes au sein d'ISD.

À la suite de cela, plusieurs nuances ont été apportées. Tout d'abord, la principale limite inhérente à la réalisation de démarches de restauration serait que cette science reste, encore aujourd'hui, trop jeune et méconnue du grand public. Si plusieurs projets d'envergure commencent à être initiés par certains grands noms de l'industrie française, on ne peut parler que de projets pilotes, parfois entrepris afin de tester les possibilités et les connaissances disponibles dans le domaine de la restauration écologique, ou, d'autres fois encore, engagés par simple geste innovant et audacieux (comme c'est le cas pour le projet colossal lancé par EDF sur le site de Kembs). Il paraît donc inévitable de continuer à développer les recherches scientifiques ainsi que les tests grandeur nature pour tenter de mieux cerner le sujet, de développer des méthodes d'évaluation efficaces et de s'assurer du succès ou d'anticiper, au mieux, les échecs d'une démarche de restauration écologique. Une fois un nombre satisfaisant de connaissances acquises sur le sujet, une communication efficace (par l'intermédiaire de méthodes de sensibilisation, de pédagogie et de formations) devra être employée afin de faire valoir l'intérêt d'une telle démarche pour un promoteur. Les notions d'intégration territoriale et de valorisation de l'image de l'entreprise devraient alors constituer le principal « cheval de bataille » pour atteindre cet objectif. Afin d'éviter les éventuels contraintes et conflits d'usage (comme, par exemple, le manque d'espace ou de budget disponible, des constructions réalisées sur des zones propices à la réalisation de travaux de restauration écologique efficace, etc.), il est également capital d'intégrer une telle démarche dès la conception de l'ISD, notamment en considérant les zones où des opérations de restauration écologique pourront être entreprises pendant et après la période d'exploitation.

En conclusion, même si le travail restant à entreprendre dans ce domaine semble encore énorme, la restauration écologique possède sa place au sein d'installations industrielles telles que les ISD. Il

demeure néanmoins nécessaire qu'un accompagnement soit proposé afin d'encourager les exploitants, de les rassurer en les confortant dans l'engagement de ce type de démarche et de leur fournir les clefs nécessaires à l'optimisation d'un projet de restauration écologique. Bien que réelles, les nombreuses contraintes techniques et réglementaires subsistantes (comme la difficulté d'envisager d'importants travaux tels que des reconstitutions de milieux boisés ou des créations de zones humides sur d'anciennes zones d'exploitation par risque d'endommager les membranes de protection) ne doivent pas être perçues comme des obstacles insurmontables. Dans le cas des dômes de déchets, par exemple, la restauration de formations végétales rases (steppes, garrigues, landes, etc.), avec introduction d'un système de pastoralisme, peut être largement envisageable et pertinente à entreprendre, au sein d'ISD dont la situation régionale le permet.

Toutefois, si l'analyse théorique de cet essai permet d'encourager la mise en place de telles mesures au sein d'ISD, il demeure toujours important d'anticiper les possibilités d'évolution négative d'un projet et d'en informer l'exploitant avant d'engager les travaux. Pour cela, il est indispensable d'intégrer, du mieux possible, l'ensemble des externalités susceptibles d'être rencontrées (crises financières, aléas climatiques, dégradation du contexte social, difficultés techniques, etc.), tout en ayant conscience que, malgré la prise de précautions, les écosystèmes garderont toujours un caractère imprévisible. Car, comme l'exprime Pierre-Auguste Renoir (s. d.), très souvent encore : « vous arrivez devant la nature avec des théories, la nature flanque tout par terre ».

RÉFÉRENCES

- Actu Environnement (2014). Dictionnaire Environnement. *In* Actu Environnement. *Actualités*. http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition.php4 (Page consultée le 13 mai 2015)
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (2014). *Déchets*. Édition 2014, Angers, ADEME, 80 p.
- Arrêté du 9 septembre 1997 relatif aux décharges existantes et aux nouvelles installations de stockage de déchets ménagers et assimilés*, JORF n°229 du 2 octobre 1997.
- Arrêté du 18 décembre 1992 relatif au stockage de certains déchets industriels spéciaux ultimes et stabilisés pour les installations existantes*, JORF du 26 avril 2014.
- Arrêté du 28 octobre 2010 relatif aux installations de stockage de déchets inertes*, JORF n°0265 du 16 novembre 2010.
- Arrêté ministériel du 30 décembre 2002 relatif au stockage de déchets dangereux*, JORF n°90 du 16 avril 2003.
- Aronson, J. (2010). Restauration, réhabilitation, réaffectation : ce que cachent les mots. *Espaces naturels*, n° 29, p. 22-23.
- Barnaud, G. & Coïc, B. 2011. *Mesures compensatoires et correctives liées à la destruction des zones humides : revue bibliographique et analyse critique des méthodes*. Convention ONEMA – MNHN, 104 p
- Béchet, A. et Olivier, A. (2014). Cossure : un exemple à ne pas suivre ? *Le courrier de la nature*, n°284, p. 40-45.
- Benayas, J. M. R., Newton, A. C., Diaz, A. et Bullock, J. M. (2009). Enhancement of Biodiversity and Ecosystem Services by Ecological Restoration: A Meta-Analysis. *Science*, vol. 325, n°5944 p. 1121-1124.
- Billard, H. (2001). Centres de stockage des déchets – Exploitation. *In* Techniques-ingénieur. *Gestion des déchets*. <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/gestion-des-dechets-42437210/centres-de-stockage-des-dechets-g2102/> (Page consultée le 22 février 2015).
- Cabane, F. (2010). Espèce ingénieur. *In* Ifremer Environnement. *Glossaire*. http://envlit.ifremer.fr/infos/glossaire/e/espece_ingenieur (Page consultée le 13 mai 2015)
- Canada. Agence Parcs Canada (2008). *Principes et lignes directrices pour la restauration écologique dans les aires naturelles protégées du Canada*. Gatineau, Agence Parcs Canada, 108 p.
- Canada. Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada (2015). *In* Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada. *Programme de gestion du rendement pour les employés*. <http://www.tbs-sct.gc.ca/pmc-dgr/smart-fra.asp> (Page consultée le 28 avril 2015).
- Centre national de la recherche scientifique (CNRS) (s. d.). Érosion de la biodiversité, crises d'extinction : de quoi s'agit-il ? *In* CNRS. *Découvrir*. http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbiodiv/index.php?pid=decouv_chapA_p2_f1 (Page consultée le 3 juin 2015).

Circulaire du 10 avril 2014 sur la taxe générale sur les activités polluantes, NOR : FCPD1408597C, 2014, par. 43 à 46 bis.

Clewell, A.F et Aronson, J. (2010). *La restauration écologique*. Lonrai, Actes Sud, 340 pages.

Clewell, A. F., Rieger, J. et Munro, J. (2010). Lignes directrices pour le développement et la gestion de projets de restauration écologique. In Clewell, A.F et Aronson, J., *La restauration écologique* (p. 267-292). Lonrai, Actes Sud.

Code de l'environnement, C. Env., 2015.

Commissariat général au développement durable (2012). Étude sur la contribution du biomimétisme à la transition vers une économie verte en France : état des lieux, potentiel, leviers. *Développement durable*. n°72 Octobre 2012. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ED72.pdf> (Page consultée le 13 mai 2015).

Commissariat général au développement durable (2015a). Bilan 2012 de la production de déchets en France. *Observation et statistiques*. n° 615 mars 2015. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/CS615.pdf> (Page consultée le 26 février 2015).

Commissariat général au développement durable (2015b). 355 millions de tonnes de déchets produits en France en 2010. *Observation et statistiques*. n° 385 janvier 2013. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/CS385.pdf> (Page consultée le 26 février 2015).

D'Auteuil, C. (2014). Discussion au sujet de l'impact anthropique sur le sol. Communication orale. *Entrevue menée par Stéphanie Milot, étudiante à la maîtrise en gestion de l'environnement à l'Université de Sherbrooke, avec Chantal d'Auteuil, Directrice générale de l'Association des biologistes du Québec*, 20 février 2014, Université de Sherbrooke, Sherbrooke.

De Billy, V., Tournebize, J., Barnaud, G., Benoît, M., Birgand, F., Garnier, J., Lesaffre, B., Lévêque, C., De Marsily, G., Muller, S., Musy, A. et Zimmer, D. (2015). Compenser la destruction de zones humides. Retours d'expérience sur les méthodes et réflexions inspirées par le projet d'aéroport de Notre-Dame-des-Landes (France). *Nature Sciences Sociétés*, n° 23, p. 27-41.

Décret n°77-1133 du 21 septembre 1977 pris pour l'application de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement, JORF du 8 octobre 1977.

Décret n°2000-258 du 20 mars 2000 modifiant le décret n° 77-1133 du 21 septembre 1977 pris pour l'application de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement, JORF n°69 du 22 mars 2000.

Décret n°2003-767 du 1 août 2003 modifiant le décret n° 77-1141 du 12 octobre 1977 sur les études d'impact pris pour l'application de l'article 2 de la loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 sur la protection de la nature et le décret n° 85-453 du 23 avril 1985 pris pour l'application de la loi du 12 juillet 1983 relative à la démocratisation des enquêtes publiques et à la protection de l'environnement, JORF n°181 du 7 août 2003.

Décret n° 2014-1501 du 12 décembre 2014 modifiant la nomenclature des installations classées, JORF n°0289 du 14 décembre 2014, texte n°6.

Delzons, O. (2013). *L'Indicateur de Qualité Écologique (IQE) et l'Indicateur de Potentialité Écologique (IPE) – Méthodologies*. Rapport SPN-MNHN, 63 p.

- Demoulin, P. (2013). *Enquête publique au titre de la loi sur l'eau relative à la renaturation d'un ancien bras du Rhin et d'un ancien champ cultivé sur l'île de Kembs par EDF*. Strasbourg, Commissaire enquêteur Patrick Demoulin, 54 p.
- Dessus, B. et Laponche, B. (2014) Forçage radiatif et PRG du méthane dans le rapport AR5 du GIEC, *Les cahiers de Global Chance*, n° 35, p. 64-74.
- De Vries, S., Verheij, R., Groenewegen P, et Spreeuwenberf P. (2003). Natural environments-healthy environments? An exploratory analysis of the relationship between greenspace and health. *Environment and Planning A*, vol. 35, no 10, p. 1717-1731.
- Dictionnaire éducation (2015). Dictionnaire. In Dictionnaire éducation. <http://dictionnaire.education/> (Page consultée le 3 juin 2015).
- Directive 1999/31/CE du Conseil du 26 avril 1999 concernant la mise en décharge des déchets, Journal officiel n° L 182 du 16/07/1999, p. 0001 – 0019.
- Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, JOUE L327 du 22 décembre 2000.
- Directive Européenne n°97-11 du 3 mars 1997 N0 9711 modifiant la directive 86337 CEE concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement, JOUE du 18 mars 1997.
- Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Haute-Normandie (2015). Les arrêtés régionaux de dérogation. In Haute Normandie Développement Durable. *Nature, eau, sites, paysages*. <http://www.haute-normandie.developpement-durable.gouv.fr/les-arretes-regionaux-de-derogation-a1695.html> (Page consultée le 13 mai 2015)
- Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) Lorraine (2012). Espèces, habitats protégés en droit français et possibilités de dérogation. In DREAL Lorraine. *IMG*. http://www.lorraine.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Note_demande_de_derogation_espece_protegee_Dreal_Lorraine121018_cle0bdd78.pdf (Page consultée le 16 mars 2015).
- Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie (DRIEE) Ile de France (2012). Centre de stockage de déchets ultimes non dangereux ou dangereux - Les obligations réglementaires en matière de conception et de traçabilité. In SPI Vallée de Seine. *Médias*. http://www.spi-vds.org/medias/fichiers/presentation_csdu_spioct2012_1.pdf (Page consultée le 18 mars 2015).
- Dutoit, T., Buisson, E., Fadda, S., Henry, F., Coiffait-Gombault, C. et Jaunatre, R. (2011). Dix années de recherche dans la plaine de Crau : impacts des changements d'usage et restauration écologique. In Dutoit, T., Buisson, E., Fadda, S., Henry, F., Coiffait-Gombault, C. et Jaunatre, R., « *La plaine de Crau : Écologie et conservation d'une steppe méditerranéenne* », Saint Martin de Crau (France), 24-25 novembre 2011, 43 p.
- Dutoit, T. et Oberlinkels, M. (2010). Restauration d'un verger industriel vers une terre de parcours à moutons. *Espaces naturels*, n° 29, p. 26-28.
- Écosphère et Hydrosphère (2008). *Guide pour la réalisation des études Faune / Flore*. Paris, SITA France, Direction Industrielle des Métiers, 124 p.
- Électricité de France (EDF) (2014). A Kembs, l'île du Rhin retrouve petit à petit, son environnement naturel. In EDF Alsace. *Innovation*. <http://alsace.edf.com/innovation/a-kembs-lile-du-rhin-retrouve-son-environnement-naturel/> (Page consultée le 9 avril 2015).

- Encyclopaedia Universalis* (2015). Dictionnaire. In *Universalis. Dictionnaire*.
<http://www.universalis.fr/dictionnaire> (Page consultée le 13 mai 2015).
- Eurostat (2010). Generation of waste. In Eurostat-Europa. *Prod_EUROBASE*.
http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasgen&lang=en (Page consultée le 25 février 2015).
- Fédération des Conservatoires botaniques nationaux (s. d.). Végétal local et Vraies messicoles. In FCBN. *Présentation*. <http://www.fcbn.fr/vegetal-local-vraies-messicoles> (Page consultée le 11 juin 2015).
- Fête de la nature (2015). EDF- Unité de production hydraulique Est. In Fête de la nature. *Organisateurs*. <http://www.fetedelanature.com/espace-acteurs/edf-up-est-mulhouse> (Page consultée le 18 mai 2015).
- Fondation Rurale Interjurassienne (s. d.). Girobroyage. In FRI. *Domaines d'activités*.
<http://www.frij.ch/CMS/default.asp?ID=739> (Page consultée le 13 mai 2015).
- Gallet, S., Bioret, F. et Sawtschuk, J. (2011). La restauration des végétations des hauts de falaises du littoral atlantique, vers une évaluation globale. *Revue SET*, n°5, p. 12-19.
- Gourdain, P. (2015). Discussion au sujet de la restauration écologique et de l'indice de qualité écologique développé par le muséum national d'Histoire naturelle. Communication orale. *Entrevue menée par Kévin Marie-Louise-Henriette avec Philippe Gourdain, responsable de la cellule "Conventions d'études Biodiversité" au sein du service du patrimoine naturel du muséum national d'Histoire naturelle*, le 16 juin 2015, Brunoy.
- Hobbs, R. J. et Harris, J. A. (2001). Restoration Ecology: Repairing the Earth's Ecosystems in the New Millennium. *Restoration Ecology*, vol. 9, n°2, p. 239-246.
- Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (2009). Caractérisation des déchets industriels dangereux. In INERIS. *Déchets dangereux*.
http://www.ineris.fr/centredoc/dechetsdangereux_web.pdf (Page consultée le 26 février 2015).
- Inspection des Installations Classées (IIC) (s. d.). Installations Classées : principes. In MEDDE. *Généralités*. <http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/-Installation-classee-.html> (Page consultée le 20 mars 2015).
- Jaunatre, R., Buisson, E., Dutoit, T. et Dolidon, B. (2011). Note méthodologique – Exemple de restauration de la plaine de Crau : l'écologie de la restauration face à la restauration écologique. *Sciences Eaux & Territoires*, n°5, p.36-39.
- Lachat, B., Biessy, M., Brousse, G. et Garnier, A. (2012). Renaturation d'un ancien bras du Rhin en aval du barrage de Kembs : un projet global de reconquête de la biodiversité aquatique et terrestre. In Graie. *Productions*. <http://www.graie.org/ISRivers/actes/pdf2012/2B204-035LAC.pdf> (Page consultée le 23 avril 2015).
- Larousse (2015). Dictionnaire de Français Larousse. In Larousse. *Dictionnaires*.
<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais> (Page consultée le 13 mai 2015).
- Laugier, R. (2012). De la restauration écologique au génie écologique. In CDU Urbanisme Équipement. *Synthèse génie écologique*.
http://www.cdu.urbanisme.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/Synthese_genie_ecolo2012_v2.pdf (Page consultée le 26 février 2015).
- Lenoir, J. (s. d.). Écologie du paysage. Amiens, Unité "Écologie et Dynamique des Systèmes Anthropisés", 52 p.

- Lévêque, C. (2008). *La Biodiversité au quotidien. Le développement durable à l'épreuve des faits*. Paris, Editions Quae et IRD, 288 p.
- Lévêque, C. (2010). Biodiversité : controverses sur la variété du vivant. *In Futura sciences. Développement durable*. <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/dossiers/d/developpement-durable-biodiversite-controverses-variete-vivant-956/page/5/> (Page consultée le 3 juin 2015)
- Loi n° 92-646 du 13 juillet 1992 relative à l'élimination des déchets ainsi qu'aux installations classées pour la protection de l'environnement, JORF n°162 du 14 juillet 1992 page 9461.
- Loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques, JORF n°303 du 31 décembre 2006.
- Maas, J., Verheij, R., Groenewegen P, De Vries, S. et Spreeuwenberf P. (2006). Green space, urbanity and health: how strong is the relation? *J Epidemiol Community Health*, vol. 60, p. 587-592.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC, Island Press, 155 p.
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE) (2012a). La protection des biotopes. *In MEDDE. Eau et biodiversité*. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-mesures-de-protection.html> (Page consultée le 13 mai 2015).
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE) (2012b). Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) : Principes Généraux. *In MEDDE. Prévention des risques*. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Principes-generaux,12091.html> (Page consultée le 20 mars 2015).
- Moreno-Mateos, D., E.Power, M., A. Comin, F. et Yockteng, R. (2012). Structural and Functional Loss in Restored Wetland Ecosystems. *In Journal Plos. PLOS Biology*. <http://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.1001247#references> (Page consultée le 03 juin 2015).
- Oberlinkels, M., Rolland, R. et Beauchain, M. (2010). Le projet de restauration du site de Cossure expérimente un mode de gouvernance. *Espaces naturels*, n° 29, p. 24-25.
- Renoir, P. A. (s. d.). *Citation*. Communication orale. <http://evene.lefigaro.fr/citations> (Page consultée le 3 juin 2015).
- Sciences Eaux & Terroires (2011), Glossaire. *Revue SET*, n°5, p. 65-67.
- Society for Ecological Restoration (2004). SER International Primer on Ecological Restoration. *In SER. Resources*. <http://ser.org/resources/resources-detail-view/ser-international-primer-on-ecological-restoration> (Page consultée le 13 février 2015).
- Suez Environnement (s. d.). Le pôle multi-filières du Jas-de-Rhodes - Un site de référence pour SITA méditerranée. *In Suez Environnement. Content*. <http://www.suez-environnement.fr/wp-content/uploads/2013/03/Plaquette-du-p%C3%B4le-multi-fili%C3%A8res-du-Jas-dRhodes.pdf> (Page consultée le 25 février 2015).
- Suez Environnement (2014). Stabiliser et stocker. *In SITA. Solutions*. <http://www.sita.fr/solutions/stabiliser-et-stocker/> (Page consultée le 25 février 2015).

- Techniques de l'ingénieur (s. d.). Arrêté préfectoral : lire et comprendre. *In* Techniques de l'ingénieur. *Ressources documentaires*. <http://www.techniques-ingenieur.fr/fiche-pratique/environnement-securite-th5/icpe-repondre-aux-exigences-reglementaires-dt27/arrete-prefectoral-lire-et-comprendre-0441/> (Page consultée le 13 mai 2015)
- Thiévant, P. (2010). La CDC Biodiversité aux commandes. *In* Écologie de la restauration (p. 24). *Espaces naturels*, n°29.
- Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) France (2012). *Panorama des services écologiques fournis par les milieux naturels en France, volume 1 : contexte et enjeux*. IUCN, Paris, France, 47 p.
- Véolia (2015). Les centres de stockage de déchets conformes à la réglementation préservent la santé des riverains. *In* Véolia-propreté. *Dossiers – Santé environnementale*. <http://www.veolia-proprete.fr/dossiers/sante-environnementale-le-biogaz-des-centres-de-stockage-de-dechets-peut-il-avoir-un-impact-sur-la-sante-des-riverains.html> (Page consultée le 6 avril 2015).
- Whisenant, S. G. (1999). *Repairing Damaged Wildlands: A Process Oriented, Landscape-Scale Approach*. Cambridge, Cambridge University Press. 328 p.
- White, P. S. et J. L. Walker (1997). Approximating nature's variation: selecting and using reference information in restoration ecology. *Restoration Ecology*, n°5, p. 338-349.
- Wilson, O. (2007). Biodiversité, les menaces sur le vivant. Communication orale. *Les dossiers de la recherche*, août-octobre 2007. http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbiodiv/?pid=decouv_chapA_p2_f1 (Page consultée le 3 juin 2015).

BIBLIOGRAPHIE

- Association scientifique et technique pour l'eau et l'environnement (ASTEE) (2013). *Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques*. Paris, ASTEE, 357 p.
- Bertolini, G. (2005). *Économie des déchets – des préoccupations croissantes, de nouvelles règles, de nouveaux marchés*. Paris, Éditions Technip environnement, 188 p.
- Bertolini, G. (2000). *Décharges : quel avenir ?* Paris, Société Alpine de Publications, 107 p.
- Bioret, F. et Chlous Ducharme, F. (2011). Évaluer la dégradation en écologie de la restauration, une question d'échelles de références et de perception. *Revue SET*, n°5, p. 3-5.
- Bouzillé, J.B. (2007). *Gestion des habitats naturels et biodiversité, concepts, méthodes et démarches*. Ed. Tec & Doc, 331 p.
- Burel, F. et Baudry, J. (2003). *Écologie du paysage – Concepts, méthodes et applications*. 4e édition, Paris, Éditions TEC & DOC, 359 p.
- Dajoz, R. (2008). *La Biodiversité – l'avenir de la planète et de l'homme*. Paris, éditions Ellipses, 275 p.
- Diaz S., Fargione J., Chapin F.S. III, et Tilman D. (2006). « Biodiversity Loss Threatens Human Well-Being », *PLOS Biology*, August 2006, Vol. 4, Issue 8, p. 1300-1305.
- Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie (DRIEE) Île de France (2012). Réglementation des installations de stockage de déchets inertes. In Ordimip. *Groupe inertes*. <http://www.ordimip.com/files/Groupe-Inertes/Colloque-DI-081112/Anne-Faure-ISDI-81112-v2.pdf> (Page consultée le 18 mars 2015).
- Dutoit, T. (2004). Recherches scientifiques dans la plaine de la Crau (Bouches-du-Rhône, France). *Ecologia Mediterranea*, n°30, 132 p.
- Dutoit, T. et Sabatier, M. (2010). Le dossier écologie. *Espaces Naturels*, n°28, p. 22-33.
- Horwitz, P., Lindsay, M. et O'Connor, M. (2001). Biodiversity, Endemism, Sense of Place, and Public Health: Inter-relationships for Australian Inland Aquatic Systems, *Ecosystem Health*, vol. 7, n° 4.
- Gallet, S., Bioret, F. et Helou, A. (2009). Quelles méthodes pour le suivi et l'évaluation des opérations de restauration écologique - Exemple de la Côte Sauvage de Quiberon. *Ingénieries-EAT*, numéro spécial, p. 73-81.
- Hutchings, M.J. et Stewart, J.A. (2002). Calcareous grassland. Handbook of ecological restoration. *Restoration in Practice*. Cambridge, n°2, p. 419-442.
- Keddy, P. et Weiher, E. (2001). *Ecological Assembly Rules Perspectives, Advances, Retreats*. Cambridge, Cambridge University Press, 438 pp.
- Kiehl, K., Thormann, A. et Pfadenhauer, J. (2006). Evaluation of initial restoration measures during the restoration of calcareous grassland on former arable fields. *Restoration Ecology*, n°14, p. 148-156.
- Lake, P. S. (2001), On the maturing of restoration: Linking ecological research and restoration. *Ecological Management & Restoration*, n°2, p. 110-115.

- Lake, P.S., Bond, N. et Reich P. (2007). Linking ecological theory with stream restoration. *Freshw. Biol.* n° 52, p. 597-615.
- McKay, J., Christian, C., Harrison, S.P. et Rice, K.J. (2005). How local is local? A review of practical and conceptual issues in the genetics of restoration. *Restor. Ecol.* n°13, p. 432-440.
- Parkinson, D. (2011). La restauration des tourbières en Wallonie : bilan du projet LIFE nature « plateau des Tailles ». *Revue SET*, n°5, p. 32-35.
- Seabloom, E.W. et Van Der Valk, A.G. (2003). Plant diversity, composition, and invasion of restored and natural prairie pothole wetlands: implications for restoration. *Wetlands*, n°23, p. 1-12.
- Service du Patrimoine Naturel (SPN) (2010). Bilans d'activités de 2009 à 2013. In SPN. *Bilans d'activités*. <http://spn.mnhn.fr/servicepatrimoinenaturel/index.html> (Page consultée le 20 janvier 2015).
- SITA France (s.d.). En bref. In Suez Environnement SITA. *SITA*. <http://www.sita.fr/en-bref/> (Page consultée le 12 janvier 2015).
- Suding, K. N., Gross, K.L. et Houseman, G.R. (2004). Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, n°19, p. 46-53.
- Temperton, V. M., Hobbs, R. J., Nettle, T. et Halle S. (2005). Assembly Rules and Restoration Ecology : Bridging the gap between theory and practice. *Restoration Ecology*, n°13, p. 580-581.
- Triolo, J. (2005). *Guide pour la restauration écologique de la végétation indigène*. Imprimerie GRAPHICA, 91 p.
- Trowbridge, W.B. (2007). The role of stochasticity and priority effects in floodplain restoration. *Ecol. Appl.* n°17, p. 1312-1324.
- Vigier, L. et Caudron, A. (2011). Évaluation de la restauration de l'habitat physique d'un cours d'eau de Haute-Savoie (le Dadon) : mise en place, premiers résultats et perspectives. *Revue SET*, n°5, p. 26-31.
- Young, T.P., Petersen, D.A. et Clary, J.J. (2005). The ecology of restoration: historical links, emerging issues and unexplored realms. *Ecol. Lett.* n°8, p. 662-673.

ANNEXE 1 - LISTE DES PROPRIÉTÉS DES DÉCHETS CLASSÉS COMME DANGEREUX AU REGARD DE L'ARTICLE R541-8 DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT (tiré de : Code de l'environnement, 2007, Livre V)

- H1 " Explosif " : substances et préparations pouvant exploser sous l'effet de la flamme ou qui sont plus sensibles aux chocs ou aux frottements que le dinitrobenzène.
- H2 " Comburant " : substances et préparations qui, au contact d'autres substances, notamment de substances inflammables, présentent une réaction fortement exothermique.
- H3-A " Facilement inflammable " : substances et préparations :
 - à l'état liquide (y compris les liquides extrêmement inflammables), dont le point d'éclair est inférieur à 21 °C;
 - ou pouvant s'échauffer au point de s'enflammer à l'air à température ambiante sans apport d'énergie;
 - ou à l'état solide, qui peuvent s'enflammer facilement par une brève action d'une source d'inflammation et qui continuent à brûler ou à se consumer après l'éloignement de la source d'inflammation;
 - ou à l'état gazeux, qui sont inflammables à l'air à une pression normale;
 - ou qui, au contact de l'eau ou de l'air humide, produisent des gaz facilement inflammables en quantités dangereuses.
- H3-B " Inflammable " : substances et préparations liquides, dont le point d'éclair est égal ou supérieur à 21 °C et inférieur ou égal à 55 °C.
- H4 " Irritant " : substances et préparations non corrosives qui, par contact immédiat, prolongé ou répété avec la peau et les muqueuses, peuvent provoquer une réaction inflammatoire.
- H5 " Nocif " : substances et préparations qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent entraîner des risques de gravité limitée.

- H6 " Toxique " : substances et préparations (y compris les substances et préparations très toxiques) qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent entraîner des risques graves, aigus ou chroniques, voire la mort.
- H7 " Cancérogène " : substances et préparations qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent produire le cancer ou en augmenter la fréquence.
- H8 " Corrosif " : substances et préparations qui, en contact avec des tissus vivants, peuvent exercer une action destructrice sur ces derniers.
- H9 " Infectieux " : matières contenant des micro-organismes viables ou leurs toxines, dont on sait ou on a de bonnes raisons de croire qu'ils causent la maladie chez l'homme ou chez d'autres organismes vivants.
- H10 " Toxique pour la reproduction " : substances et préparations qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent produire ou augmenter la fréquence d'effets indésirables non héréditaires dans la progéniture ou porter atteinte aux fonctions ou capacités reproductives.
- H11 " Mutagène " : substances et préparations qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent produire des défauts génétiques héréditaires ou en augmenter la fréquence.
- H12 Substances et préparations qui, au contact de l'eau, de l'air ou d'un acide, dégagent un gaz toxique ou très toxique.
- H13 "Sensibilisant" : substances et préparations qui, par inhalation ou pénétration cutanée, peuvent donner lieu à une réaction d'hypersensibilisation telle qu'une nouvelle exposition à la substance ou à la préparation produit des effets néfastes caractéristiques. Cette propriété n'est à considérer que si les méthodes d'essai sont disponibles.
- H14 " Écotoxique " : substances et préparations qui présentent ou peuvent présenter des risques immédiats ou différés pour une ou plusieurs composantes de l'environnement.
- H15 Substances et préparations susceptibles, après élimination, de donner naissance, par quelque moyen que ce soit, à une autre substance, par exemple un produit de lixiviation, qui possède l'une des caractéristiques énumérées ci-avant.

ANNEXE 2 - PRÉSENTATION DU PROJET DE RESTAURATION DE L'ÎLE DE KEMBS (tiré de EDF, 2014, page consultée le 9 avril 2015)



1 RIVE FRANÇAISE

2 RIVE ALLEMANDE

3 VIEUX RHIN

4 GRAND CANAL D'ALSACE

Il permet la navigation et alimente la centrale hydroélectrique

5 CENTRALE HYDROÉLECTRIQUE ET ÉCLUSES DE KEMBS

6 BARRAGE

Grâce à ses 5 passes, il permet de laisser passer les crues et d'assurer une partie du débit réservé dans le Vieux Rhin. Ce débit a été augmenté en 2010 pour favoriser la biodiversité de la faune et de la flore aquatique. Il est aujourd'hui modulable saisonnièrement : 52 m³ l'hiver / 150 m³ l'été. A l'achèvement de la centrale B, le débit s'ajustera journalièrement, en fonction des variations naturelles du fleuve : une particularité encore unique en France.

7 CENTRALE B

Elle turbinera une partie du débit réservé du Vieux Rhin et permettra de générer le débit d'attrait nécessaire au bon fonctionnement de la nouvelle passe à poissons attenante. D'une hauteur de 28 m (dont 18 enterrés), équipée de 2 groupes turbines, l'ouvrage devrait produire annuellement environ 28 millions de kWh. Une part importante du chantier de génie civil de la partie souterraine de la centrale a déjà été réalisée. L'achèvement des travaux est prévu à l'été 2016.

8 NOUVELLE PASSE À POISSONS

Sur plus de 200 m de longueur, intégrée en grande partie à la nouvelle centrale, elle sera composée de 2 circuits de montaison des poissons : l'un depuis le Vieux-Rhin à l'aval de la centrale, l'autre depuis le bras renaturé de rivière qui traversera l'île du Rhin. Des dispositifs de dévalaison, de surface et de fond, vers le bras de rivière renaturé, sont également prévus.

9 PASSE À CASTORS

Elle sera positionnée en rive droite du barrage, en territoire allemand, et vise au rétablissement d'une population de castors, stable et viable, à cet endroit du fleuve.

10 RIVIÈRE RECONSTITUÉE (amont)

Elle est composée d'un bras principal (pouvant atteindre 25 m de large !) et de nombreux bras annexes. Elle naît au niveau du Grand Canal d'Alsace puis parcourt l'île sur plus de 7 kilomètres, à travers une mosaïque de milieux naturels humides et secs, avant de se jeter dans le Vieux-Rhin, créant ainsi une liaison piscicole. Elle se prolonge ensuite dans la forêt de l'île, sous la forme de bras de plus petite dimension. Sa mise en eau est prévue dès le mois de septembre 2014.

11 PLANTATION DE ROSELIÈRES (milieu humide)

12 FUTURES PRAIRIES (milieu sec)

13 PLANTATIONS FORESTIÈRES COMPLÉMENTAIRES

14 MARES

15 RIVIÈRE RECONSTITUÉE (aval)

Connexion piscicole entre le Grand Canal d'Alsace et le Vieux Rhin

16 ZONES ALLEMANDES DE RÉTENTION DE CRUES